grandi OPERE

MANUALE DI RILEVAMENTO ARCHITETTONICO E URBANO

Mario Docci Diego Maestri

EDITORI LATERZA

Proprietà letteraria riservata
Gius. Laterza & Figli Spa, Roma-Bari

Finito di stampare nel luglio 2009
SEDIT - Bari (Italy)
per conto della Gius. Laterza & Figli Spa
ISBN 978-88-420-9068-7

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata,
compresa la fotocopia, anche ad uso interno o didattico.
Per la legge italiana la fotocopia è lecita solo per uso personale
purché non danneggi l'autore. Quindi ogni fotocopia che eviti l'acquisto
di un libro è illecita e minaccia la sopravvivenza
di un modo di trasmettere la conoscenza.
Chi fotocopia un libro, chi mette a disposizione i mezzi per fotocopiare,
chi comunque favorisce questa pratica
commette un furto e opera ai danni della cultura.

Introduzione

Negli ultimi decenni, il rilevamento architettonico ha trovato, nelle facoltà di Architettura e di Ingegneria, una precisa collocazione in diversi corsi di laurea. Le sue qualità didattico-formative, la necessità di disegnare direttamente *in situ* e di osservare attentamente ogni edificio nella sua interezza e in relazione al contesto urbano hanno implicitamente dimostrato la validità della disciplina stessa. Come conseguenza di questa rinnovata e più attenta analisi del cosiddetto «costruito» sono stati creati appositi dottorati di ricerca, atti ad approfondire il rilevamento architettonico, urbano ed ambientale in tutti i suoi aspetti teorici ed applicativi, con particolare riferimento alle tecniche informatiche. Sotto la spinta di molteplici fattori, quali ad esempio le crescenti esigenze di tutela del patrimonio architettonico e dei centri storici, il fondamentale interesse per gli interventi di restauro (non solo degli edifici monumentali) e una più puntuale ricerca storica, basata su grafici attendibili, il rilevamento del singolo edificio, del complesso urbano e di quello ambientale ha acquisito il ruolo che gli compete, tanto nella formazione degli architetti e degli ingegneri edili, quanto nella preparazione dei dottori di ricerca e nella pratica professionale.

Tuttavia, se è ampiamente mutato l'atteggiamento generale verso questo settore della ricerca architettonica, permangono ancora, rispetto ad esso, vari equivoci, quale, ad esempio, quello di identificare l'operazione di rilevamento con la semplice misurazione formale di un organismo architettonico, mentre si tratta di un'operazione di conoscenza approfondita, tanto generale, quanto dettagliata, della qualità architettonica, strutturale, ambientale, ecc. dell'edificio in oggetto. Ora, poiché un organismo edilizio è un sistema costruttivo-spaziale assai complesso, nel quale risultano strettamente connesse parti esterne o visibili e parti interne nascoste, occorre, se si vuole comprenderne l'intima realtà qualitativo-formale, determinare e utilizzare un insieme di indagini che arrivi a cogliere l'essenza dell'opera architettonica e non solo il suo aspetto esteriore. Infatti, come afferma Piero Sanpaolesi, il rilevamento architettonico «distingue i conoscitori da coloro che restano alla superficie, anche cosiddetta colta, della conoscenza»[1].

Questo studio, tuttavia, non può illustrare, come si vedrà in seguito, una metodologia operativa univoca, né può chiarire tutti i problemi o sciogliere i molteplici interrogativi che riguardano la disciplina in oggetto, tanto complessa quanto ampia e inevitabilmente legata alla cultura e agli aspetti professionali, sociali e strumentali di ciascuna epoca. Occorre perciò ribadire con forza che il rilevamento di un organismo edilizio, lungi dall'essere identificabile con una sia pur corretta misurazione geometrico-dimensionale, rappresenta o deve almeno tendere alla rappresentazione, mediante trascrizione grafica, della conoscenza globale dell'opera, ottenuta attraverso indagini attente e ragionate sulla realtà costruttiva, che di questa colgano i valori formali, spaziali, dimensionali, percettivi, tecnologici e costruttivi.

Per effettuare un'operazione di questo tipo occorre ovviamente conoscere le metodologie del rilevamento, ma ancor più prendere coscienza del significato culturale e costruttivo dell'edificio che si vuol rilevare. Solo mediante l'acquisizione di una cognizione sempre più attenta e puntuale di esso è possibile, infatti, instaurare quel «dialogo» fra rilevatore e struttura architettonica, che consentirà di orientare e finalizzare le operazioni di rilevamento e di ottenere da esse il maggior numero di risposte significative. Uno studio sif-

fatto consentirà al rilevatore di pervenire alla comprensione di una gran quantità di valori dell'opera studiata e di documentarli graficamente in modo opportuno.

Con la varietà delle metodologie di rilevamento che saranno esemplificate, con la puntuale corrispondenza tra testo e grafici esplicativi delle operazioni descritte, oltre che con l'apparato illustrativo generale, si è voluto presentare uno studio qualificato, che specifichi l'importanza della disciplina e l'iter necessario per passare in modo corretto dall'analisi di un organismo edilizio alla sua raffigurazione.

Quanto alla struttura di questa nuova edizione, essa appare molto ampliata, per quanto attiene alle nuove, ma già consolidate metodologie informatiche, e molto modificata rispetto a quella della precedente edizione. In apertura vengono illustrati due argomenti fondamentali: quello della teoria della misura e dell'arte mensoria antica e quello della strumentazione per i vari tipi di rilevamento, diretto, indiretto, fotogrammetrico e informatico. Nel primo caso, si è sviluppato il concetto di «misura» e si sono aumentate le informazioni in merito ai sistemi mensorii del passato, per ciò che concerne le unità di misura di lunghezza, sulle quali tuttavia, data l'importanza dell'argomento, occorrerà continuare le ricerche. Risulta evidente, infatti, la differenza, anche concettuale, che può emergere nelle operazioni di misurazione di un'opera architettonica, se non si impiega un'unità di misura analoga a quella utilizzata per realizzarla. Sappiamo, ad esempio, quale importanza rivestano, in determinati periodi storici, i sistemi di proporzionamento degli edifici, sistemi che possono essere apprezzati solo se l'edificio viene studiato servendosi dell'unità di misura impiegata per la sua costruzione. Quanto al secondo argomento, il notevole perfezionamento della strumentazione già esistente e la straordinaria produzione di programmi informatici per la raccolta, la trascrizione e l'elaborazione grafica dei dati, rendono superflua qualsiasi delucidazione in merito alle ragioni della sua trattazione.

Particolare attenzione è stata dedicata, inoltre, ai fondamenti teorici del rilevamento e alla normativa che lo riguarda. Per motivi eminentemente didattici, si sono trattate separatamente le varie metodologie di rilevamento, che vanno da quello architettonico (a proposito del quale sono state riportate diverse osservazioni in merito al modo di rilevare i particolari e gli ordini architettonici e sugli schemi proporzionali del passato) a quello per il restauro, passando per quello urbano e quello archeologico.

Il rilevamento architettonico e quello urbano sono stati trattati separatamente per rispondere a un criterio di semplificazione espositiva. Di conseguenza, per evitare la ripetizione di determinati concetti o argomenti comuni, nel capitolo dedicato al rilevamento urbano e in quelli che si riferiscono alle altre metodologie di rilievo sono stati inseriti vari rimandi alla trattazione generale sul rilevamento architettonico.

Un capitolo è stato dedicato al complesso problema delle convenzioni grafiche e della simbologia da utilizzare nelle tavole di rilevamento architettonico, non tanto per fornire risposte esaustive o definitive in proposito, quanto per ricordare l'importanza di questo settore, nel quale, ancora, si riscontrano iniziative personali, di settore e di enti ufficiali.

Questo studio è rivolto, naturalmente, a tutti coloro che si occupano di rilevamento architettonico, ma soprattutto agli studenti di Architettura e di Ingegneria e in particolare a quelli che frequentano corsi specialistici di restauro dei monumenti, di rilevamento e di catalogazione dei beni architettonici, di storia del rilevamento, di documentazione e di analisi storico-critica dei monumenti, i quali, in esso dovrebbero presumibilmente trovare motivi di interesse e utili riferimenti.

Si spera, inoltre, che gli specialisti della materia vorranno scusare gli autori per le semplificazioni effettuate e per quei casi in cui si sono dilungati nell'illustrazione di operazioni elementari che, in quanto tali, vengono di solito date per scontate, cosicché coloro che si avvicinano per la prima volta alla disciplina in oggetto sono costretti ad «estenuanti» sperimentazioni personali.

Note

[1] P. Sanpaolesi, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze 1973, n. 34, p. 62. Lo scritto così prosegue: «Devo qui confermare che la scelta del buon rilievo, fra gli svariati che possono trovarsi del medesimo edificio, classifica in bene o in meno bene, lo studioso che se ne serve. Il rilievo errato o grossolanamente schematico nasconde una insidia per chi lo usi incondizionatamente».

Manuale di rilevamento architettonico e urbano

RINGRAZIAMENTI Per questa seconda edizione del *Manuale di rilevamento architettonico e urbano* un ringraziamento sentito spetta innanzitutto a quanti ci hanno aiutato fin dall'inizio di questa operazione e in particolar modo ai professori Gianfranco Spagnesi, Mario Fondelli, Giovanni Carbonara, Riccardo Migliari, Mario Centofanti, Michela Cigola, Carlo Mezzetti ed Emanuela Chiavoni.

Molti ringraziamenti spettano al professor Giorgio Stockel, esperto e colto conoscitore della fotografia d'architettura, per aver rivisto il cap. X, all'architetto Catia Cichetti, per aver collaborato alla parte concernente gli ordini architettonici, alla professoressa Marcella Morlacchi, per aver fornito gli originali per lo studio del colore, e ai professori Romolo Cantinenza ed Antonio Pugliano, per la disponibilità e la gentilezza dimostrate in ogni occasione in cui ci si è a loro rivolti.

Siamo anche molto grati alle dottoresse Mariarosaria Salvatore, direttrice dell'ICCD, e Federica Galloni, direttrice della Soprintendenza per i Beni architettonici e per il paesaggio per il Comune di Roma, per l'attenzione dimostrata nei nostri confronti e per aver concesso la pubblicazione delle schede ICCD.

Come di consueto, siamo molto riconoscenti alla professoressa Mimma De Luca Maestri per aver riletto l'intero testo.

Vivi ringraziamenti spettano agli architetti Maria Luisa Desiderio, dell'ICCD, e Roberto Banchini, della Soprintendenza già citata, per la disponibilità dimostrata.

Siamo inoltre riconoscenti ai dottori Arturo Gallozzi, Alfonso Ippolito, Priscilla Paolini e Giovanna Spadafora, ricercatori presso gli Atenei di Cassino e Roma, per averci aiutato in vario modo.

Uno specifico grazie va al signor Ivan Guiducci, senza l'aiuto del quale non saremmo riusciti a superare le «difficoltà informatiche» più volte incontrate.

Molti ringraziamenti spettano, poi, alla Società Leica Geosystems e alla Società Wild, per aver messo a nostra disposizione le immagini degli strumenti di loro produzione.

I disegni di rilevamento del Palazzo Branconio, nella città di L'Aquila, sono pubblicati per gentile concessione della Presidenza della Cassa di Risparmio della Provincia dell'Aquila, proprietaria dell'edificio (il rilevamento è dei professori, ingegneri Mario Centofanti e Luigi Zordan e dell'architetto Vincenzo Masi, con la collaborazione dell'architetto Vincenzo Giusti).

Capitolo primo

Aspetti generali del rilevamento architettonico

Il rilevamento architettonico è un insostituibile strumento di ricerca e di conoscenza degli organismi edilizi, di qualsiasi genere essi siano, che ha, fra l'altro, uno scopo generale di fondamentale importanza: quello di offrire «una documentazione eccellente, ineccepibile, ricettiva di tutte le sollecitazioni e i riflessi psicologici e di tutti i ricordi che l'opera architettonica può suggerire»[1].

L'espressione «rilevamento architettonico»[2] ha assunto, nel tempo, un significato preciso, accettato e riconosciuto ovunque, in cui sono racchiusi valori e procedure in grado di far progredire gli aspetti scientifici di una disciplina che include ormai in sé e sottintende attività fra loro strettamente collegate (ricerca archivistica e bibliografica, osservazione e studio diretto degli edifici, rilevamento topografico, analisi e misurazione delle parti, del tutto e del contesto in cui la fabbrica è inserita, trascrizione grafica di quanto studiato ecc.), ma che gode tuttavia di ampia autonomia. L'assunto appena annunciato non sarebbe comprensibile, se non si ribadisse qui con forza che ogni organismo architettonico, tanto per caratteri propri, quanto per essere opera inserita in un determinato contesto e periodo storico – esito, quindi, di una società e di maestranze con caratteristiche peculiari – presenta forme, dati, valori e problematiche comunque lontani da quelli odierni e proviene da un diverso modo di concepire l'architettura, di strutturare l'edilizia e di risolvere le difficoltà costruttive. Ne consegue, dunque, che per conoscere e comprendere veramente l'essenza di un edificio del passato, occorre «rilevarlo», vale a dire studiarlo e «farlo proprio», graficizzandolo attraverso modelli rappresentativi di vario tipo.

Il rilevamento, infatti, permette a chi lo esegue o allo studioso che lo utilizza di individuare, analizzare e registrare la primitiva fase di una determinata fabbrica e le vicende da essa subite nel tempo, di chiarire, in pratica, le varie trasformazioni in essa prodottesi, dalla originaria configurazione fino allo stato attuale, di coglierne gli elementi caratteristici e quelli anomali, di evidenziarne la morfologia strutturale, le condizioni statiche e le valenze architettoniche. A questo scopo, i valori spaziali e geometrico-architettonici del fabbricato vengono tradotti in un insieme di elementi numerico-grafici, adatti a mettere in evidenza singoli elementi o, in generale, uno specifico organismo edilizio.

Se si pensa, però, alla complessità di ciascun fabbricato e alle difficoltà che si incontrano nel rappresentarlo sulla carta, ne deriva che il rilevamento è anche analisi, selezione, sintesi e graficizzazione del fatto reale. Il rilevamento, nel senso più vero, assume dunque valore interpretativo, in quanto, basandosi su una precisa metodologia di ricerca, tende a graficizzare la più vasta serie possibile di informazioni, a raffigurare l'opera presa in esame nei suoi aspetti geometrici, costruttivi, spaziali e d'utilizzo (architettonici insomma) e a delineare altresì il maggior numero di aspetti formali e stilistici, divenendo così strumento essenziale per l'architetto, l'ingegnere, lo storico, l'archeologo, ecc.

Effettuare un rilevamento architettonico, allora, indipendentemente dal metodo prescelto e dal fine ultimo per cui lo si esegue, significa comprendere davvero l'opera che si sta studiando, penetrare la sua realtà profonda, coglierne tutti i valori, da quelli costruttivi a quelli dimensionali, da quelli formali a quelli spaziali, compiendo certo un'opera di chiarificazione geometrica, di misurazione, di conoscenza storica e tecnologica, ma soprattutto un'operazione di lettura, di discretizzazione dell'organismo architettonico e di

trascrizione grafica della qualità formale e architettonica dello stesso.

Rilevare significa anche individuare, in un'opera architettonica, sempre più o meno complessa, gli elementi significativi, indispensabili alla caratterizzazione di quel preciso organismo e al suo riconoscimento, pur nella semplificazione che se ne deve necessariamente dare, mediante le scale di riduzione, nella trasposizione sul supporto bidimensionale. Il rilevamento architettonico deve dunque cogliere, dell'edificio, non gli aspetti contingenti, episodici o esteriori, maggiormente sottoposti a interpretazioni soggettive, ma quelli che distinguono, appunto, una particolare opera da molte altre simili, approdando alla conoscenza intima, effettiva e il più particolareggiata possibile di un determinato organismo edilizio e consentendo, attraverso la comprensione e la raffigurazione dei dati eloquenti che lo riguardano, la determinazione delle parti originarie, come pure delle trasformazioni da esso subite.

Ai fini di un buon rilevamento, grande importanza assume l'ispezione diretta e minuziosa della fabbrica in oggetto, che può verificarsi solo attraverso diversi sopralluoghi, i quali permettono di acquisire dimestichezza e capacità di immedesimazione nelle vicende dell'opera stessa. Come Luigi Vagnetti ha sottolineato, «un rilievo architettonico eseguito senza il dovuto scrupolo, conduce sovente ad una documentazione grafica infedele, appunto per la mancata osservazione e notazione di quelle irregolarità e di quelle anomalie che tanto peso hanno nella sensazione di calore prodotta dall'esame dell'edificio. Senza contare che sovente una scrupolosa operazione di rilevamento conduce alla scoperta di quelle segrete deformazioni metriche, poste abilmente in atto dall'autore dell'opera, e sufficienti a neutralizzare i risultati dannosi di aberrazioni ottiche sagacemente previste.

Massima cura dovrà infine essere posta nel rilevamento di quelle particolari membrature architettoniche che hanno andamenti generatori curvilinei, anziché rettilinei, e ciò per la evidente necessità di individuare la legge geometrica che quasi sempre determinò, all'atto della progettazione e della esecuzione, quelle linee e quelle superfici curve»[3].

Risulta chiaro, però, che la qualità e la semplificazione degli elementi ritenuti importanti ai fini della caratterizzazione di ogni opera e la «discretizzazione» di essa sono connesse anche con la scelta della scala di riduzione adottata per redigere i grafici finali di rilevamento, le cui precipue qualità devono essere la chiarezza, la qualità architettonica, la precisione e la funzionalità. A questo proposito, non va dimenticato, infatti, che i grafici di rilievo possono essere utilizzati da persone che non hanno troppa dimestichezza con il disegno di architettura vero e proprio.

Problematiche inerenti il rilevamento architettonico

Ampi, vari e continuamente *in fieri* sono gli studi e le discussioni legati al rilevamento, per il mutare dei criteri con cui si affronta l'analisi di un'opera, per il modificarsi continuo del concetto stesso di rilevamento, per il perfezionarsi della strumentazione. Anche le norme grafiche e le schematizzazioni, del resto, variano con il mutare dei tempi, con il modificarsi della rappresentazione architettonica, con la cultura e con il grado di comprensione instauratosi tra rilevatore e organismo edilizio.

Poiché ogni periodo storico ha inteso a suo modo questa disciplina e poiché anche la nostra epoca non sfugge a questa legge, ne discende che l'attuale modo di concepirla e di metterla in pratica è solo uno dei molti che si sono succeduti e si succederanno nel tempo: non, dunque, quello corretto e preferibile in assoluto. In altre parole, come i rilievi eseguiti nella nostra epoca sono apprezzabili secondo l'attuale modo di vedere e di intendere, così quelli eseguiti in altri periodi hanno una loro validità, legata al contesto culturale di cui sono espressione e ciò induce a concludere che non esiste un periodo in cui si sia rilevato meglio, in assoluto, che in altri, mentre sussiste una pluralità di modi di intendere e di eseguire il rilevamento architettonico, che va dunque considerato, nell'ambito di un certo periodo storico, come espressione del rapporto tra opera da studiare e rilevatore e visto in relazione alle sue finalità, alle conoscenze geometriche, alla strumentazione adoperata, alla cultura del rilevatore stesso e a quella generale del tempo in cui esso è stato eseguito, oltre che ai mezzi grafici con cui lo si è realizzato. In generale, pertanto, esiste una relazione assai stretta tra rilevamento, tecnica strumentale, disegno e critica architettonica.

Poiché da quanto detto appare chiaro che il rilevamento è operazione di lettura, di analisi ragionata e finalizzata, ma

anche di interpretazione, e parlare di totale oggettività, per esso, è un palese controsenso, è vero, invece, che esso è il frutto di un processo analitico basato sia sull'interpretazione, sia sui dati oggettivi inerenti l'organismo edilizio preso in esame. Questa compresenza di interpretazione ed oggettività ha fatto sì che si generassero rilievi molto diversi tra loro. Vi sono stati, infatti, rilevatori che, preferendo intendere il rilevamento come un'operazione eminetemente interpretativa dell'edificio, hanno accentuato questo concetto, ponendolo alla base di tutto il processo, dalla misurazione alla restituzione grafica, con il risultato di produrre dei disegni fortemente soggettivi e quindi «molto particolari». Per contro, i sostenitori ad oltranza dell'oggettività hanno cercato di estendere questo principio anche agli aspetti interpretativi, ritenendo il rilevamento un'operazione prettamente tecnicistica, con risultati altrettanto singolari.

Anche se spesso è potenzialmente finalizzato alla lettura storico-architettonica e alla conoscenza di un'opera, il rilevamento architettonico vanta invece una sua validità intrinseca, evidente nella sua utilità in senso generale, nella sua carica culturale, nella possibilità di confermare o modificare asserti in genere accettati da tutti, nell'essere «opera» esso stesso, non solo di documentazione oppure di supporto per altri settori d'indagine, «ma prodotto di una certa epoca».

Finalità del rilevamento

Il rilevamento è utilizzato in una vasta gamma di lavori di pertinenza dell'architetto e dell'ingegnere, nell'esercizio di discipline, quali il restauro, l'urbanistica, l'analisi architettonica, la storia dell'architettura, la ricerca archeologica, oppure nelle vertenze di carattere giudiziario, nel censimento dei beni architettonici, nella didattica nell'ambito delle facoltà di Architettura e di Ingegneria, nei Corsi di perfezionamento e nelle Scuole di specializzazione. Esso è indispensabile ancora, nel restauro conservativo di un edificio, nel caso di riuso di un immobile, di un isolato o di un settore urbano, nel risanamento o nella trasformazione o nel completamento di un fabbricato, nello studio e nelle ricerche di vario tipo su un organismo architettonico, allorché sia indispensabile verificare la rispondenza tra disegni di progetto e realizzazione dello stesso ecc.

Con il progressivo aumento dei settori di utilizzo del rilevamento si va sempre più ampliando e specializzando la tipologia stessa dei grafici, pur nel mantenimento di diversi elementi comuni, quali, ad esempio, l'attenzione ai materiali impiegati, alla corretta forma geometrica, alla qualità architettonica, alle fasi costruttive e alle strutture ecc.

In base alla loro caratterizzazione poi, i grafici assumono spesso una denominazione specifica: si parla, allora, di rilevamento critico strutturale, stratigrafico, archeologico, metrico, cronologico delle varie fasi costruttive, di rilevamento dello stato di fatto, del degrado ecc.

Rilevamento e analisi storico-architettonica

Si è in precedenza affermato che, per la conoscenza vera di un monumento, condizione necessaria e indispensabile appare la stesura di grafici di rilevamento, ove non esistano disegni di progetto oppure questi, pur esistendo, non siano rispondenti alla realtà; ne consegue dunque, a maggior ragione, che, ai fini dell'analisi storico-architettonica di un'opera, un'accurata campagna di rilevamento diviene doverosa. Nemmeno una dettagliata descrizione sarebbe in grado di trasmettere ad altri la percezione dei valori architettonici, spaziali, tecnologici e statici dell'edificio stesso; risultati, invece, conseguibili con un buon rilevamento. Persino corredando la descrizione scritta di una buona documentazione fotografica o cinematografica non sarebbe possibile evidenziare ed esaminare tutti gli aspetti della costruzione, in quanto la mancanza di grafici risulterebbe sempre una lacuna grave, essendo il disegno implicitamente discretizzazione della realtà, individuazione e selezione ragionata delle caratteristiche architettoniche e di tutto quanto è legato alla costruzione e al suo ambiente.

Il rilevamento, infatti, ha lo scopo di mettere a disposizione dello studioso la storia della costruzione attraverso i secoli, le fasi costruttive, le trasformazioni subite e ogni più piccolo evento in essa registrato e individuabile. Proprio in virtù dell'importanza di individuare le varie fasi costruttive, da molto tempo ormai, è stata messa a punto, anche se non ancora codificata ufficialmente, un'apposita simbologia, atta alla rappresentazione convenzionale delle fasi stesse e valida soprattutto per la scala di riduzione più usuale (1:100) (fig. 1).

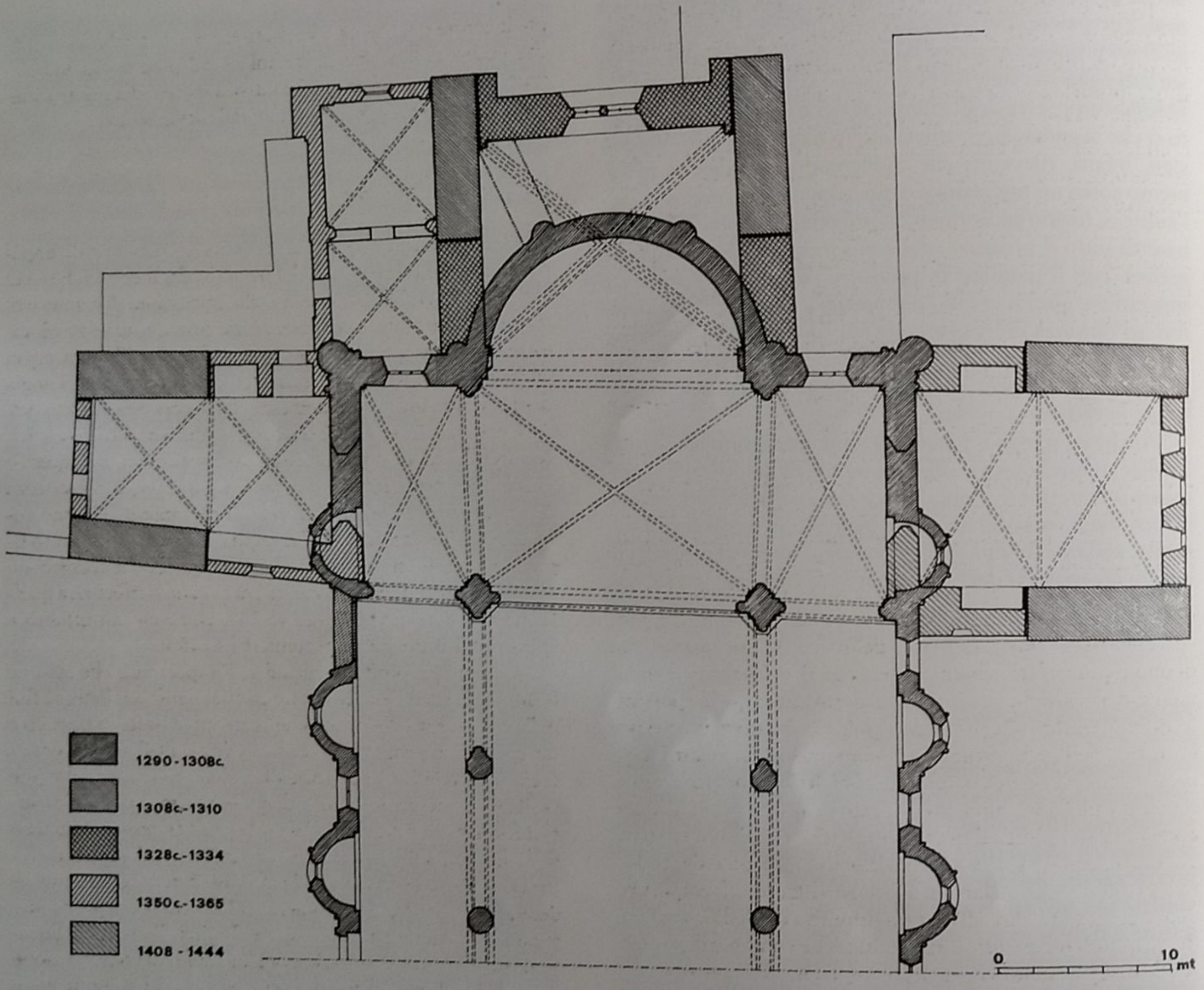


Fig. 1. Pianta della zona absidale del duomo di Orvieto con l'indicazione delle varie fasi costruttive e delle trasformazioni avvenute dalla fine del secolo XIII alla metà del XV.

La stesura di grafici utili a questo tipo di analisi richiede ottime conoscenze di storia dell'architettura, grande attenzione nel prendere le misure, nella identificazione delle diverse partiture murarie e nella trascrizione grafica degli elementi architettonici. La cura del rilevatore deve arrivare a registrare anche i più piccoli indizi che possano dare informazioni sull'opera: ad esempio, i tracciati per il posizionamento di blocchi lapidei, l'impronta di grappe di fissaggio, l'ubicazione e la giacitura delle parti cadute, la lavorazione dei vari blocchi ecc. È proprio durante il processo di osservazione diretta, effettuata durante il rilevamento, infatti, che l'opera svela il proprio essere al rilevatore, il quale compie, certo, un lavoro di misurazione, ma anche e soprattutto un'operazione di lettura, orientata verso la cognizione puntuale dell'opera da rilevare, necessaria premessa per l'analisi storica, di cui costituisce, o dovrebbe costituire, uno dei parametri più importanti.

Un rilevamento scientificamente condotto può mettere in evidenza trame murarie anomale rispetto al restante tessuto dell'edificio, così come il variare del tipo e dello spessore di un muro evidenzia, di solito, una trasformazione; attraverso il raffronto dei rilievi del paramento murario, in pianta e nei prospetti, si possono inoltre mettere in luce le eventuali rifusioni di edifici più piccoli in uno successivo di dimensioni maggiori, così come il rilievo e il raffronto delle strutture del piano terra di uno o più isolati urbani consentono di evidenziare l'andamento delle antiche tessiture strutturali, dalle quali è possibile, quindi, risalire alle primitive tipologie abitative. Poiché per lo storico dell'architettura il «documento» da studiare è rappresentato dall'edificio stesso, i grafici di rilevamento costituiscono un ulteriore momento di informazione puntuale, che aumenta e semplifica il processo analitico e, nello stesso tempo, può orientare le ricerche d'archivio e gli aspetti da studiare; è possibile così iniziare un processo a ritroso nel tempo, mediante il quale risalire alla forma primitiva dell'edificio e condurre quindi un'analisi storico-critica che consenta di giungere alla maggior conoscenza degli eventi che lo riguardano.

Seguendo tale metodologia, evidentemente, la ricerca non procede per tentativi, ma risulta guidata e orientata dalle indicazioni che scaturiscono direttamente dall'esame dell'opera in oggetto e dalla verifica delle ipotesi che lo studioso formula, anche sulla base dei disegni di rilevamento. Questo metodo di lavoro, né nuovo, né originale e tuttavia assai valido non sempre incontra quel favore che meriterebbe, probabilmente anche a causa delle scarse attitudini all'indagine storica manifestate da molti rilevatori o, di contro, a motivo del ridotto interesse di molti storici nei confronti del rilevamento.

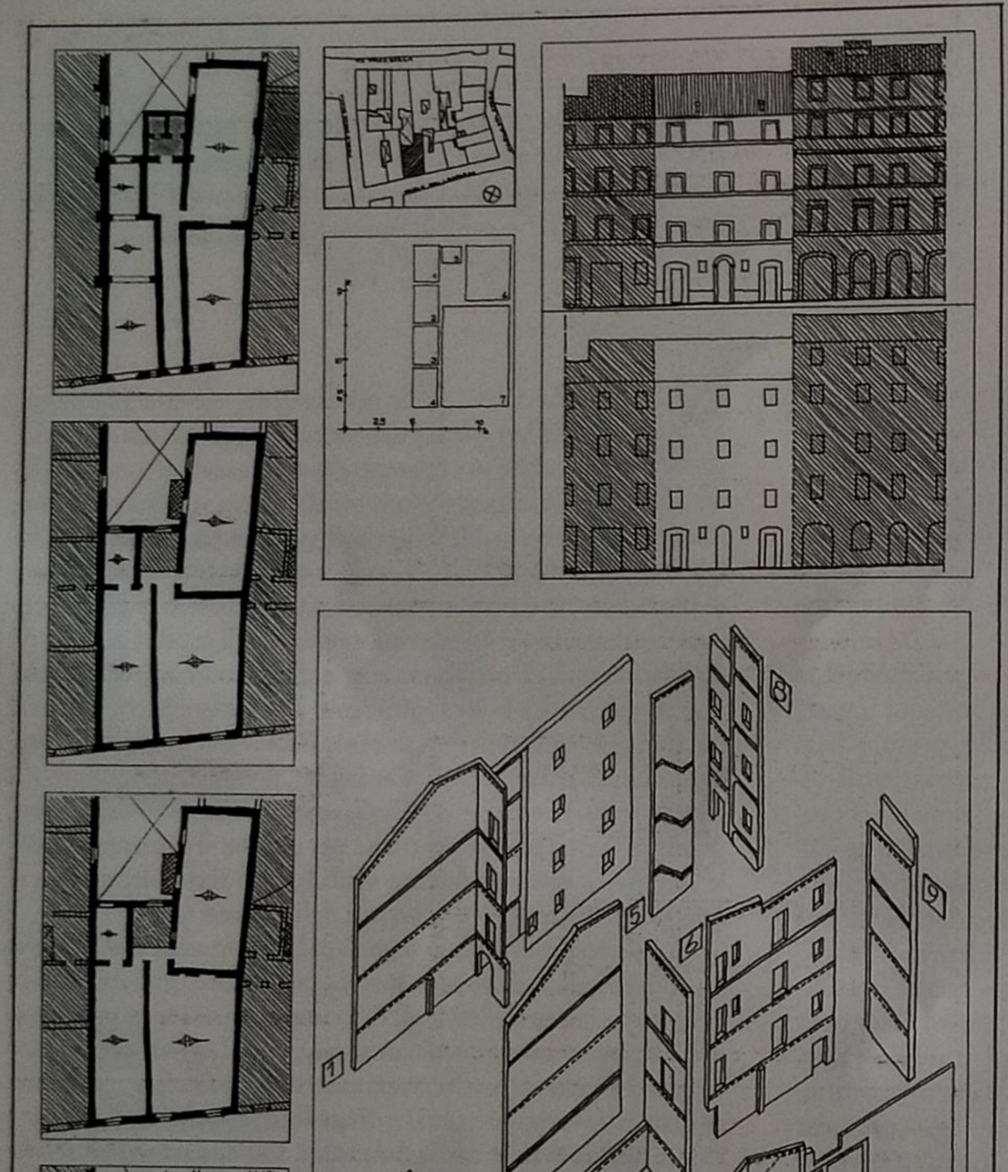
Rilevamento e restauro

Uno dei settori nei quali la necessità del rilevamento appare imprescindibile è quello del restauro degli edifici. È ovvio che non si dovrebbe porre mano alle operazioni di restauro di un qualunque fabbricato senza averlo prima studiato e rilevato, in quanto proprio l'intelligenza profonda dell'opera, cui in tal modo si perviene, è alla base di ogni corretta metodologia di intervento, indipendentemente dal successivo utilizzo dell'opera stessa. La semplice conoscenza degli aspetti geometrico-morfologici di un organismo architettonico, per quanto importante, non è infatti sufficiente a garantire la correttezza dei successivi interventi su di esso. Il rilevamento si pone, invece, come basilare mezzo d'indagine, non solo per quanto riguarda le parti esterne e visibili, ossia quelle che forniscono l'immagine dell'opera, ma anche per ciò che si riferisce a quelle interne, non direttamente visibili, che sono altrettanto e spesso addirittura più importanti delle prime.

A questo proposito va segnalata l'importanza che assume lo studio grafico delle strutture parzialmente crollate, ai fini della conoscenza delle tecniche costruttive usate in passato e del successivo progetto di conservazione. Dall'attenta osservazione, e relativa graficizzazione, delle parti parzialmente crollate (se ancora presenti) e di quelle in sito, è possibile trarre informazioni sulle cause del crollo, sull'andamento interno delle lesioni, sulle operazioni costruttive, sul rapporto fra strutture murarie diverse, sulla effettiva funzione portante di determinate parti architettoniche, sulla forma e sul posizionamento dei materiali messi in opera. Inoltre, l'attenta delineazione delle strutture murarie e del loro stato di conservazione non solo è indispensabile per la conoscenza del monumento e per il suo restauro, ma risulta anche utilissima per una lettura ragionata delle parti portanti dell'organismo, del loro stato e delle eventuali trasformazioni da esse subite (fig. 2a,b).

Per quanto riguarda i fenomeni di degrado o di dissesto, ad esempio, è ovvio che risulta più importante individuarne

a



b

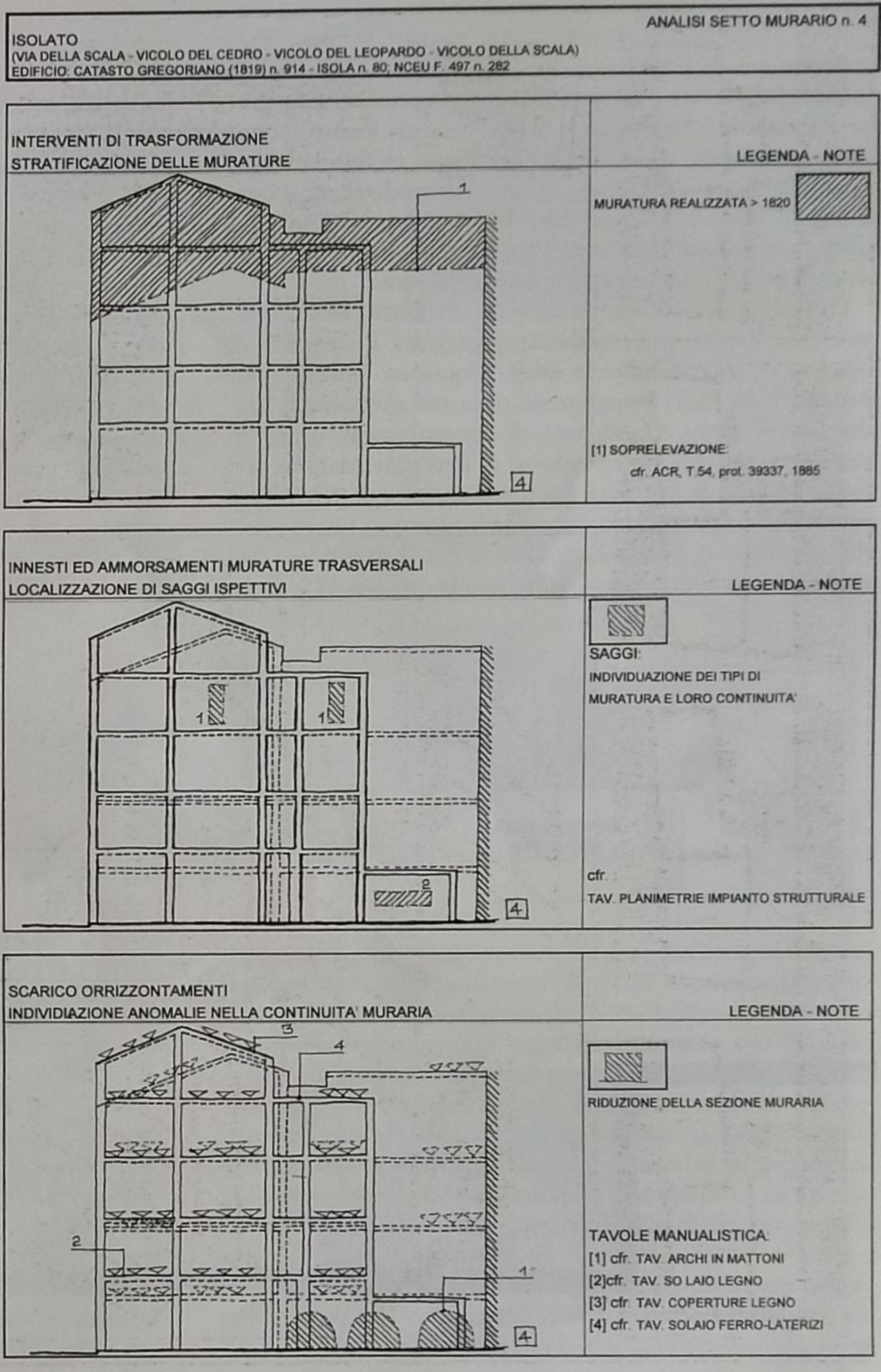


Fig. 2a,b. Scheda di rilevamento di un'unità edilizia del rione Trastevere in Roma: a) individuazione dei principali setti murari; b) analisi del setto murario n. 4. Rilevamento A. Gallozzi.

le cause che rilevare e rappresentare con eccessiva e soggettiva puntigliosità grafica gli aspetti esteriori. Vanno individuati e graficizzati, altresì, i fattori climatici, eolici, geologici, di inquinamento, che hanno portato al degrado stesso, come pure quelli che hanno contribuito ad accelerare i fenomeni di disgregamento, così da formare apposite classi, tanto dei fattori degradanti, quanto degli agenti acceleranti[4].

Particolare attenzione è necessario dedicare, inoltre, alle cause che hanno eventualmente provocato il degrado di edifici vicini, per stabilire le quali, acquistano notevole importanza l'uso della fotogrammetria e del rilevamento tramite laser scanner. Questi metodi consentono di venire in possesso di un insieme complesso di dati riguardanti le più minute lesioni, le più lievi fessurazioni, i fuori piombo, le spanciature, le decorazioni, i bassorilievi ecc. e, più in generale, permettono di avere rapidamente a disposizione dati qualitativi e quantitativi che indichino le condizioni statiche e i problemi dell'immobile a una certa data e che possano essere altrettanto velocemente verificati in tempi successivi.

Anche in questo settore d'indagine si rivela fondamentale la conoscenza dei sistemi di misurazione adottati all'atto della progettazione e della costruzione dell'edificio. A distanza di tempo e in luoghi diversi, le varie civiltà hanno adoperato, infatti, unità di misura differenti e ciò può aver prodotto peculiarità dimensionali e proporzionali specifiche. Il determinare con sicurezza l'unità di misura utilizzata per la progettazione e la realizzazione di un complesso architettonico, o di una o più parti di esso, consente di stabilire se l'opera stessa ricada nell'ambito di una certa cultura artistica oppure se debba essere assegnata a personalità o a maestranze estranee, quanto a formazione professionale e culturale, alla zona in cui l'organismo è stato costruito. Un'attenta e puntuale misurazione permette di individuare, inoltre, ove esistano, tutte quelle piccole anomalie quasi in-

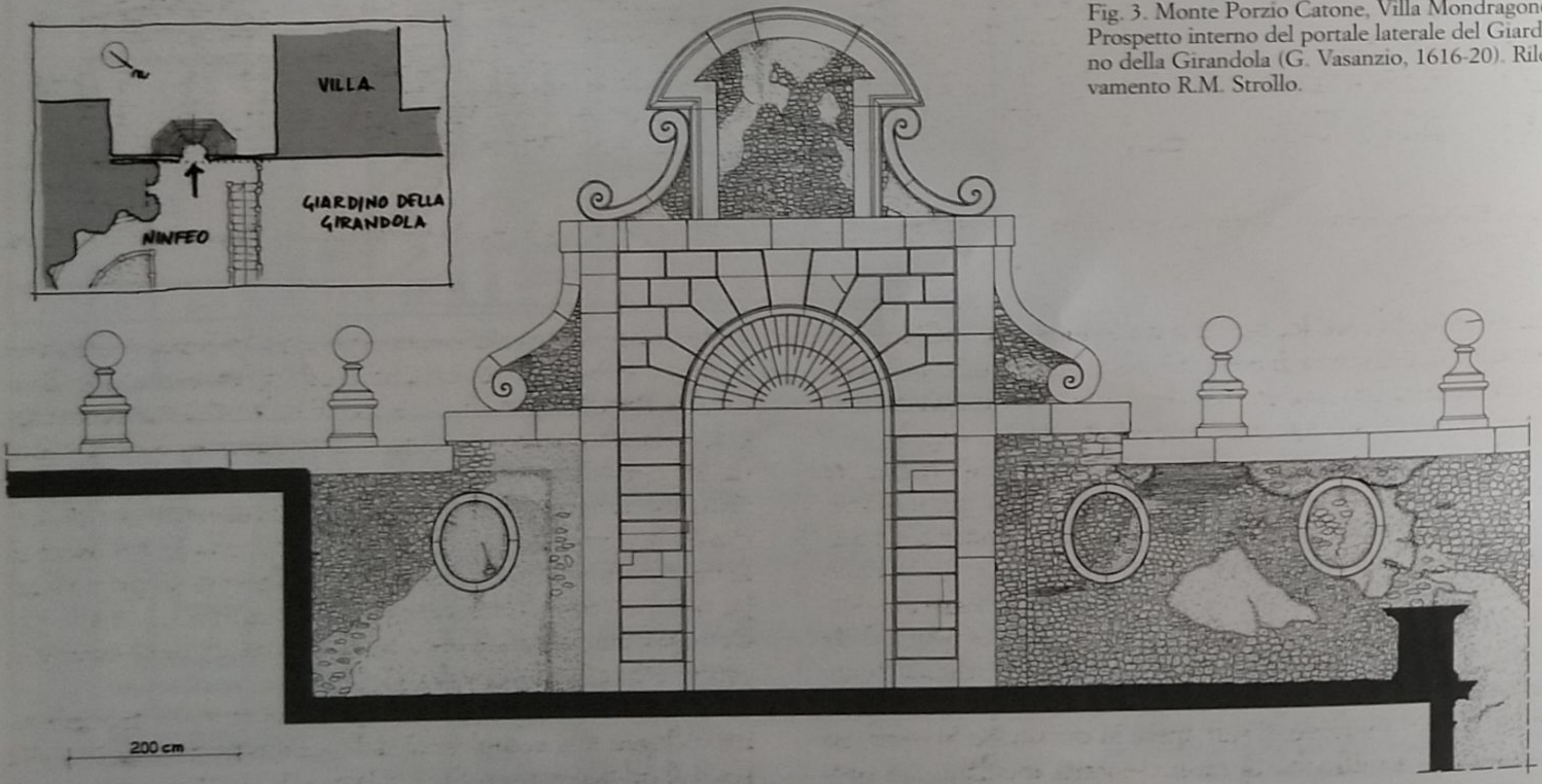


Fig. 3. Monte Porzio Catone, Villa Mondragone. Prospetto interno del portale laterale del Giardino della Girandola (G. Vasanzio, 1616-20). Rilevamento R.M. Strollo.

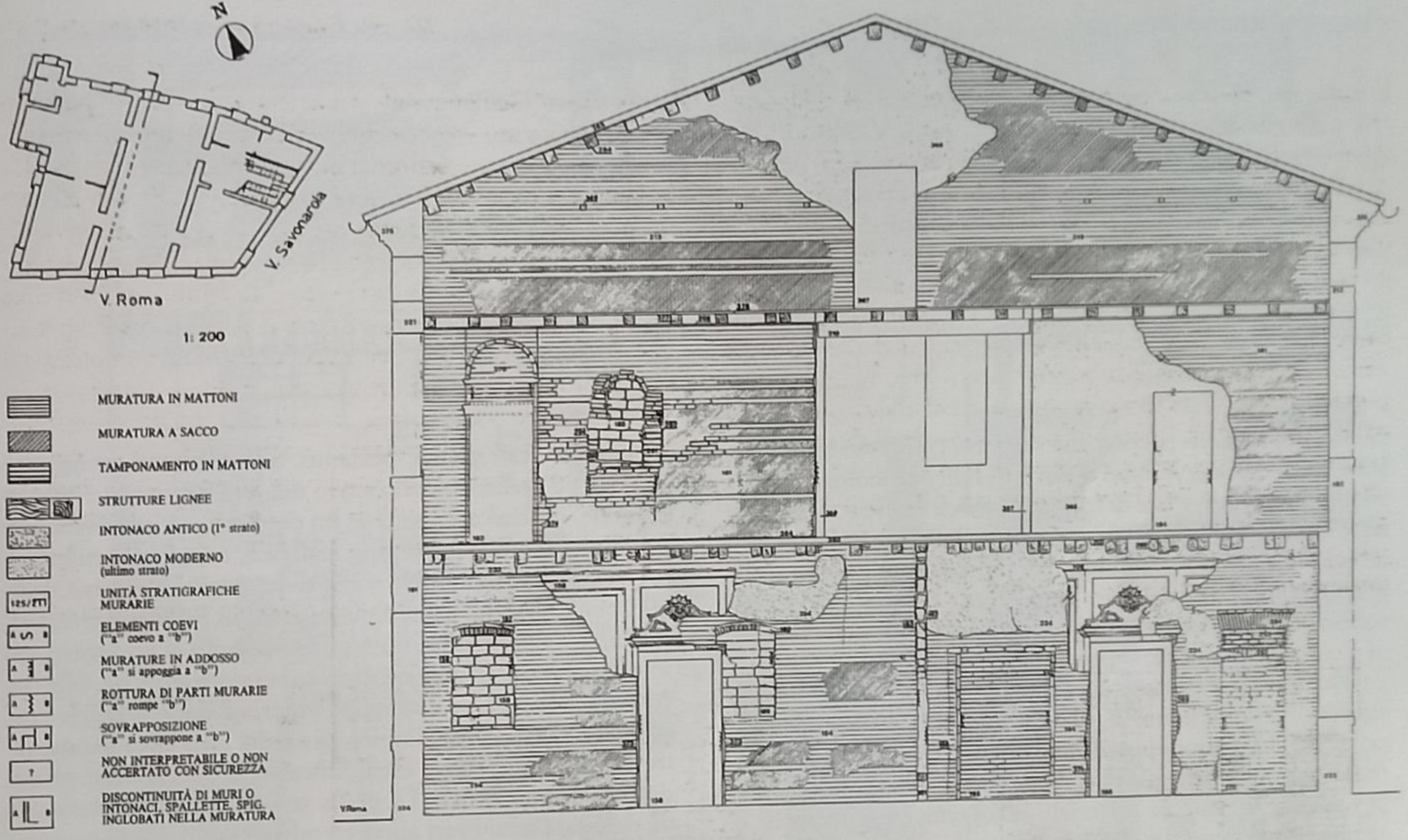


Fig. 4. Sezione-prospetto di un muro di spina di un edificio d'abitazione ad Oderzo (Treviso). Analisi delle strutture architettoniche. Rilevamento M.A. Moro, L. Mingotto.

visibili a occhio nudo, ma di grande momento nella determinazione dell'immagine complessiva dell'edificio in oggetto, nella caratterizzazione di certe sue parti e nell'attribuzione di esso a un determinato periodo storico (fig. 3).

Non vanno trascurati, infine, per la loro importanza tre aspetti generali che si riferiscono al rilevamento per il restauro: quello della difficoltà esecutiva di un rilevamento esaustivo, prima dell'intervento sull'opera, quello dei grafici da predisporre e quello delle convenzioni e della simbologia da adottare. Il primo problema citato, nasce evidentemente dalla complessità del fenomeno architettonico, che difficilmente può essere colto e graficizzato nella sua totalità, prima che vengano compiuti interventi sull'opera in questione. Si pensi, ad esempio, alla difficoltà di rappresentare, mediante un prospetto, una parete esterna accorpata, modificata, risistemata in diverse epoche e ricoperta, infine, da uno spesso strato di intonaco. Per quanto il rilevamento di un edificio sia stato eseguito razionalmente e con cura, si deve dunque prevedere, durante l'esecuzione dei lavori di restauro o nella fase preparatoria di essi, la necessità di un certo numero di verifiche e di precisazioni, derivante da ritrovamenti, novità nella conoscenza delle strutture e individuazione di fenomeni in un primo tempo non percepiti. L'osservazione e la cognizione di tali elementi possono appunto portare anche a rettifiche di quanto in precedenza graficizzato (fig. 4).

Per quanto invece riguarda i grafici, essi sono strettamente collegati alla complessità dell'organismo in oggetto, alle scale di riduzione prescelte e ai lavori da effettuare, ma, in ge-

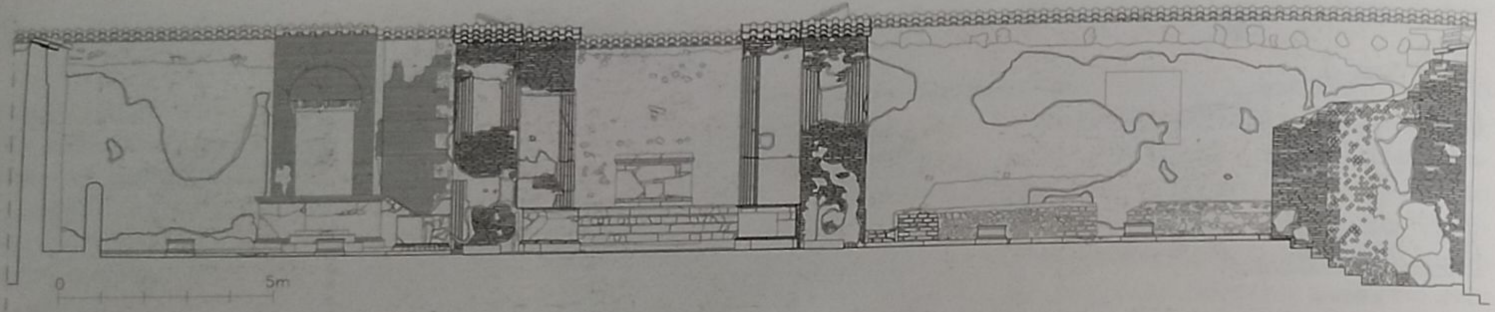


Fig. 5. Pompei, «Macellum». Sezione-prospetto del fronte est. Rilevamento G. Spadafora.

nerale, dovrebbero riferirsi alle seguenti categorie: a) grafici sullo stato attuale, quotati e no; b) grafici cronologici, illustranti le successive fasi di formazione dell'edificio; c) grafici relativi all'opera eseguiti in precedenza (rilevamenti, vedute, disegni di vario tipo); d) grafici di raffronto tra disegni antichi, rilevamento dello stato attuale ecc.; e) elaborati grafici sulle ricerche geometriche e proporzionali, sulle deformazioni e correzioni ottiche; f) progetto di intervento sull'opera.

Quanto al terzo aspetto, considerata la specificità di questo settore e l'abitudine di utilizzare, nei disegni di questo tipo, scale di riduzione a piccolo denominatore, oltre alle norme di carattere generale vanno previste apposite simbologie per quanto attiene ai materiali, alle tecniche costruttive e strutturali, ai dissesti e alle loro cause.

Rilevamento e archeologia

Anche in archeologia il rilevamento, intimamente connesso con le altre operazioni della ricerca, è fondamentale per la comprensione e l'interpretazione del significato di qualsiasi sito archeologico, come pure di tutti quegli organismi architettonici in cui il dato archeologico sia importante. Mai come in questo caso, infatti, il lavoro si configura come opera di analisi, di documentazione, di comparazione dei reperti relativi alle diverse fasi storiche, che deve portare, fondamentalmente, alla selezione dei dati, all'interpretazione dei vari elementi, alla precisazione delle relazioni mutue tra le parti e all'attenta lettura di tutte le componenti utili alla comprensione di quanto avvenuto sul sito o sull'organismo in esame (fig. 5).

Gli elaborati grafici, pertanto, non debbono presentare un disegno realistico dello scavo dei reperti murari e, più in generale, del sito occupato da un determinato insediamento, ma una raffigurazione di tipo analitico, capace di evidenziare i fatti basilari inerenti lo scavo archeologico. Occorre, dunque, che il disegno sia semplice, privo di raffinatezze estetiche, molto chiaro e che, trattandosi appunto di uno scavo, esso offra una comparazione di relazioni stratigrafiche, una documentazione scientificamente rigorosa delle tecniche costruttive, dei materiali impiegati e della loro lavorazione, oltre ad una significativa esemplificazione dei caratteri propri dell'organismo antico. La grafia stessa, poi, deve essere tale da denotare tutti i vari apparati murari mediante convenzioni in gran parte in uso già da tempo. Il rilevamento scientifico, applicato oggi comunemente nello studio degli organismi architettonici, trova in archeologia un settore d'impiego particolarmente adatto, specie in relazione agli scavi stratigrafici rigorosamente condotti. Con l'accurato rilevamento[5] dei reperti caduti al suolo è spesso possibile conoscere la loro posizione originaria e stabilire tutta una serie di informazioni, pertinenti ad alcune parti o all'intera opera in esame[6].

In relazione alle grandi scale di riduzione normalmente utilizzate (da 1:50 a 1:10 e più), l'attenzione è dedicata alla individuazione, e alla successiva delineazione in pulito, di tutti i materiali impiegati, degli eventuali moduli costruttivi, dei sistemi di finitura e delle più piccole tracce, dai resti di intonaco alle impronte delle lastre pavimentali su sottofondo cementizio, dai vari tipi di opere murarie alle giunture di strutture diverse, dagli eventuali restauri fatti nel passato fino alle tamponature od occlusioni di aperture, di nicchie ecc.

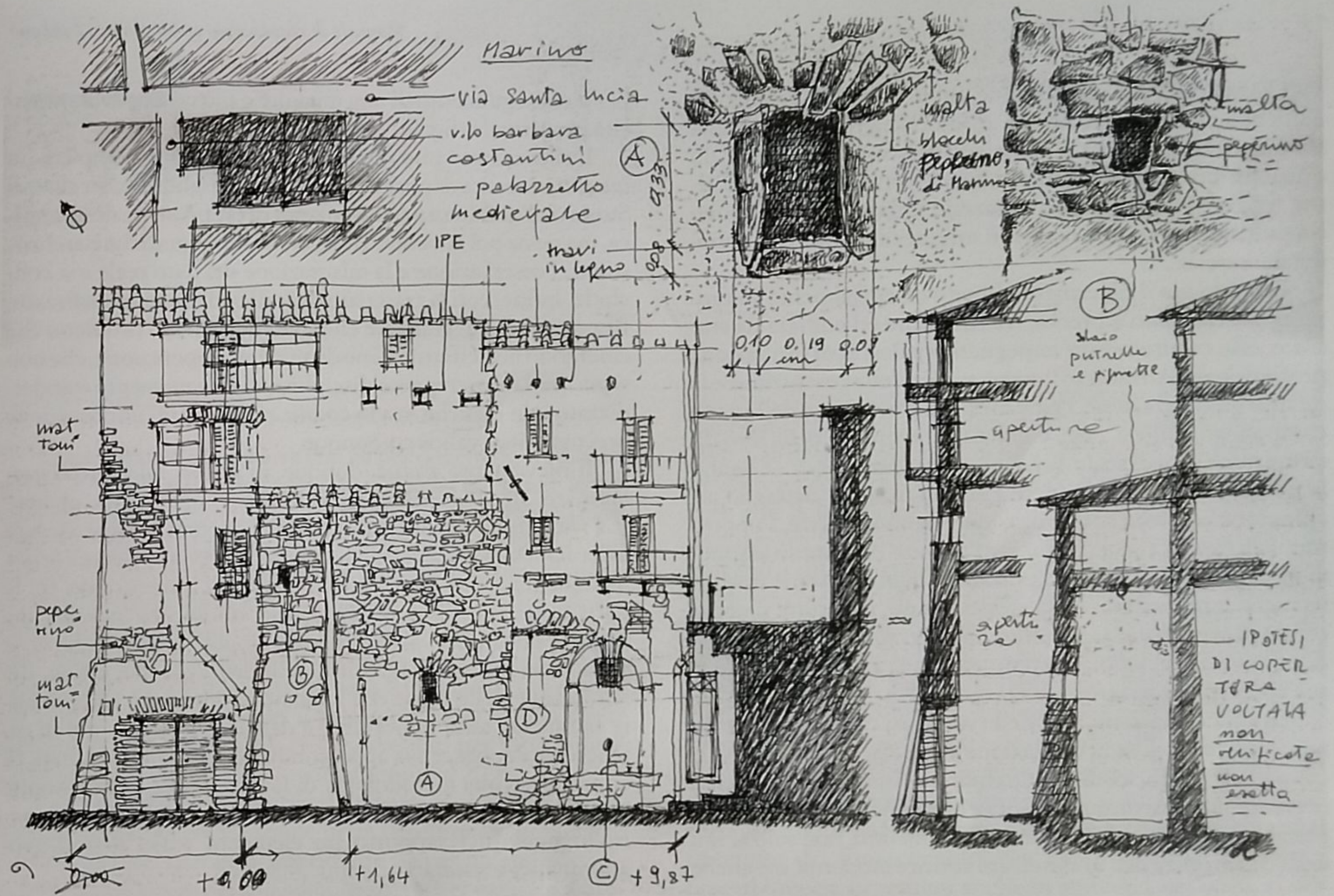


Fig. 6. Eidotipo per il rilevamento di un edificio a Marino (Roma). Studi per la prima conoscenza dell'opera edilizia. Eidotipo architetto S. Colaceci.

Rilevamento e didattica

L'esercizio del rilevamento e, in generale, lo studio degli edifici del passato è stato, fin dal Rinascimento, seppure sotto diversi aspetti teorico-pratici, la disciplina principe per l'autopreparazione professionale e per la formazione degli allievi architetti[7]. Oggi la disciplina è giustamente insegnata tanto nelle facoltà di Architettura, quanto in alcuni Corsi di laurea di Ingegneria. La cultura storico-architettonica attuale riconosce un forte contenuto didattico educativo alle operazioni di rilevamento. Lo studente che si accosta a tale tipo di esperienza, infatti, ha la possibilità di confrontarsi con la realtà costruttiva, osservando, misurando, operando per fasi successive e razionali, abituandosi alla pratica del continuo controllo percettivo della qualità architettonica e delle dimensioni fisiche dell'organismo edilizio; senza contare che l'analisi grafica espressa contestualmente all'osservazione dei dati costruttivi è un grande, insostituibile mezzo di conoscenza.

Questa disciplina comprende, inoltre, problematiche didattiche ampie ed articolate: da un lato, la metodologia di analisi e di ricerca su cui è fondata costituisce, già di per sé, un orientamento generale di studio, aperto e interessante; dall'altro, il rigore scientifico e l'ampiezza d'indagine che debbono contaddistinguerla favoriscono il sorgere di sempre nuovi motivi d'interesse.

Essendo poi il rilevamento basato essenzialmente su rapporti diretti, chiari e precisi, tra rilevatore ed edificio da studiare, esso costituisce un'impegnativa palestra di formazione professionale. Attraverso l'osservazione della costruzione e la relativa graficizzazione, i giovani si rendono conto delle varie componenti edilizie, degli elementi strutturali e della loro distribuzione (tipi di scale, solai, murature, infissi ecc.) e hanno la possibilità di comprendere l'importanza del dettaglio architettonico e della sua lavorazione; hanno, inoltre, l'opportunità di capire, specie mediante l'utilizzo di spaccati assonometrici, quali siano le parti portanti e quelle portate, quali le tecniche murarie, ma, nello stesso tempo, di intuire il «concetto» di organismo architettonico e di cogliere, di quest'ultimo, l'essenziale, la forma complessiva, la sua geometria e la sua complessità strutturale.

La concatenazione, poi, delle varie fasi di lavoro, la continua verifica a cui ogni operazione deve essere sottoposta, la connaturata praticità di tale disciplina e l'osservazione attenta dei fenomeni costruttivi, artistici e linguistici dell'architettura pongono il rilevamento tra le materie più utili, non solo ai fini della conoscenza dell'architettura antica e moderna, ma anche per il conseguimento di una migliore e più consapevole capacità progettuale (fig. 6).

Il rilevamento può dirsi, infatti, operazione completa, in quanto necessita dapprima delle indispensabili conoscenze di Storia dell'architettura e dei metodi di rappresentazione grafica, ma passa poi attraverso le ricerche bibliografiche e archivistiche, l'osservazione e la misurazione del dato reale e si conclude, infine, con la trascrizione grafica di quanto analizzato. Bisogna anche aggiungere che sono tali e tanti i problemi che emergono nell'effettuazione di una simile operazione, che non si può parlare, per questa disciplina, di insegnamento standardizzato o in qualche modo codificato, né di un'impostazione precostituita e valida comunque.

Il rilevamento abitua, dunque, in sintesi, allo studio preliminare, all'osservazione diretta, alla comprensione geometrico-strutturale di un edificio e alla corrispondente stesura informatica, o sulla carta, di quanto osservato, alla percezione delle relazioni dimensionali e spaziali intercorrenti tra le parti di un organismo edilizio, allo studio dell'insieme, ma anche a quello del valore che ogni singolo elemento ha in se stesso e in relazione agli altri, all'individuazione, infine, dei fenomeni e delle cause che li hanno prodotti. La componente «pratica», assai importante e delicata, consente poi di ottenere una conoscenza approfondita dei problemi trattati, di apprendere una metodologia di lavoro basata sulla costante verifica di quanto si viene scoprendo e producendo e sul controllo finale del rapporto tra elemento reale, intenti programmatici e risultati ottenuti.

Note

[1] «Talché niente posso fare se non dispongo di buonissimi disegni di rilievo. Se non esistono di questa o di quella opera, la primissima mia iniziativa dovunque è di farli fare, o, se mi trovo nelle steppe dell'Asia, di farli di mia mano, prima ancora di accedere ai primi approcci di uno studio storico-critico che si avvalga di materiale librario, archivistico, epigrafico, ecc.». Queste parole di Giuseppe Zander, riportate in un manoscritto del 1983, sintetizzano molto efficacemente l'importanza del rilevamento per l'architetto e per lo studioso che, a vario titolo, si occupano di architettura del passato.

[2] Rilevamento e non «rilievo» dovrebbe sempre dirsi, in quanto il primo termine, a differenza del secondo (che è il più diffuso, ma ha anche altri significati), richiama implicitamente l'operazione del rilevare, nella concretezza dell'osservare, del misurare e del ragionare con somma cura su un certo organismo architettonico.

[3] L. Vagnetti, *Disegno e architettura*, Genova 1958.

[4] Naturalmente la graficizzazione di questi aspetti richiede, dapprima, una serie di indagini, effettuate da esperti nei vari settori citati, e certamente la stesura di apposite tavole tematiche.

[5] Certo non solo con quello; indispensabili sono, naturalmente, le conoscenze generali e specifiche di Storia dell'architettura sull'opera che si sta studiando, la dimestichezza pratica con quel tipo di edificio, le informazioni di base sui materiali impiegati ecc.

[6] Cfr. G. Zander, *La conoscenza della Storia dell'Architettura quale necessaria premessa anche nei casi di anastilosi: alcune importanti esperienze*, in «Atti del XXI Congresso di Storia dell'Architettura», Roma 12-14 ottobre 1983.

[7] Non che prima del Rinascimento questa pratica fosse sconosciuta; come si dirà nella *Sintesi storica* (cfr. *infra*, cap. XIV), tale disciplina era, ad esempio, molto in voga anche presso i Romani.

Capitolo secondo

Teoria della misura

Antiche unità di misura

La metrologia è la scienza che ha per oggetto lo studio dei princìpi, dei metodi e dei mezzi necessari ad effettuare le misurazioni delle grandezze fisiche ed è sin troppo ovvio ricordare che, fin dall'antichità, per le varie attività della vita quotidiana, l'uomo ha dovuto stabilire e adottare strumenti mensorii atti a dimensionare e quantificare tutto ciò che egli andava vendendo, comprando e costruendo. Come dunque le altre attività delle società che ci hanno preceduto erano basate su unità di misura e sistemi mensorii legati al corpo umano, quali il braccio, il piede, il palmo ecc. o ad attività svolte dall'uomo o dagli animali[1], così è avvenuto per tutta la produzione architettonica dei secoli anteriori al XIX.

La conoscenza del sistema di misura adottato nella progettazione e nella realizzazione di un determinato organismo edilizio diviene, pertanto, importante sia per un'approfondita lettura dell'opera nel suo complesso, sia per valutare il proporzionamento fra le varie parti di essa. Non è certo, questa, un'idea nuova, se già nel secolo XIX Viollet-le-Duc, suggeriva di affrontare lo studio dei monumenti antichi servendosi delle unità mensorie adoperate all'epoca della loro costruzione e metteva in guardia sui fraintendimenti che si sarebbero prodotti, nell'analisi dimensionale, geometrica o armonica degli organismi architettonici antichi, usando il sistema metrico decimale[2].

In verità, siamo così abituati a ragionare, progettare, valutare ed eseguire grafici in base al sistema metrico decimale che, anche quando osserviamo una casa medievale o un palazzo rinascimentale, la lettura mentale o grafica che ne facciamo è senza dubbio in metri. È logico che la casa medioevale o il palazzo quattrocentesco, comunque li si osservi, non cambiano, che forma, volume e spazi rimangono immutati, però è altrettanto vero che la nostra lettura è condotta e viene espressa secondo codici che poco o nulla hanno a che vedere con la mentalità di chi ha costruito quelle opere. Nel passato, tre parametri principali e alcuni secondari contribuivano a differenziare, entro certi limiti, i vari edifici e anche le diverse parti di una stessa costruzione: 1) la differenza delle unità mensorie da Stato a Stato; 2) la variabilità delle dimensioni delle unità di misura nel tempo; 3) la mobilità dei progettisti; inoltre, per molte fabbriche i tempi di costruzione erano piuttosto lunghi, il progettista poteva essere sostituito da un altro proveniente da una zona differente da quella d'origine del primo. A questo proposito bisogna dunque rilevare che l'architetto godeva forse, a quel tempo e sotto certi aspetti, di una maggiore autonomia culturale; gli artisti fiorentini del Rinascimento, per esempio, progettavano in base al braccio fiorentino anche in ambienti nei quali, si utilizzavano altre unità di misura locali. Se ne deduce che l'unità di misura adoperata nella progettazione costituiva quasi una caratteristica del luogo di provenienza di un artista.

A tutto ciò, però, non si è data la dovuta importanza in campo architettonico, sia dal punto di vista del rilevamento e della lettura degli edifici, sia da quello dello studio critico dei medesimi e l'analisi mensoria è ancora poco utilizzata. Il ragionare in base al metro, infatti, pur avendo portato innegabili vantaggi nel campo degli scambi internazionali e nelle varie attività della vita quotidiana, ha, per altri versi, impedito alle ultime generazioni di comprendere appieno il modo di pensare e di agire delle società del passato.

Molti gli esempi che si possono fare in proposito in campo

edilizio: se si misura l'intercolumnio dell'Anfiteatro Flavio in Roma adottando l'attuale unità di misura, il metro, si ottiene mediamente il valore di 6,8 ml, dato dimensionale di difficile interpretazione, mentre la misura rapportata al piede romano (ml 0,296 ca.) fornisce il valore di 23 piedi, che è cifra intera e meglio rispondente alla progettazione delle varie parti del monumento antico. Analoga considerazione può essere fatta per valutare il proporzionamento di molti edifici rinascimentali fiorentini, nei quali l'unità di misura, il braccio fiorentino[3], è utilizzata come elemento modulare sia nell'impostazione planimetrica che negli alzati: così è, per citare solo due casi, nella chiesa di Santa Maria delle Carceri a Prato, di Giuliano da Sangallo, e nella chiesa di Santo Spirito, a Firenze, di Brunelleschi[4]. Pertanto, uno studio approfondito sull'unità di misura adottata nella progettazione e costruzione di edifici e di opere scultoree monumentali, sui rapporti proporzionali tra le varie parti e sulle dimensioni dello schema distributivo di esse può rivelarsi di grande importanza per l'analisi storico-critica, per l'attribuzione e per la datazione di numerose opere. Ad esempio, il professor Giuseppe Zander, già architetto della Reverenda Fabbrica di San Pietro in Roma, curando il restauro del monumento a Paolo II, ha potuto accertare, attraverso un accurato rilevamento, che il dimensionamento e il proporzionamento dell'opera sono basati sull'uso del braccio fiorentino. Da ciò sembra potersi dedurre che la primitiva attribuzione dell'opera a Giovanni Dalmata, a cui avrebbe offerto collaborazione Mino da Fiesole, debba essere rivista, rivalutando di molto il contributo del collaboratore, certamente il più vicino all'uso di quella unità di misura. L'individuazione di quest'ultima, nella costruzione di una fabbrica, può dunque servire a modificare delle ipotesi tradizionalmente accettate, come è avvenuto nel caso della chiesa di San Donato di Angarano, presso Bassano del Grappa, nella quale Marcello Salvatori, sulla base di un accurato rilevamento, ha messo in luce che l'impianto generale dell'edificio di culto, ritenuto dell'inizio del secolo XIII, è basato su un'unità mensoria carolingia, il che fa apparire poco probabile una datazione risalente ad epoca posteriore al 1000.

Lo studio delle matrici geometriche e delle unità di misura antiche, eseguito sul rilevamento del convento di Santa Maria delle Grazie a Rignano Flaminio, presso Roma, da Giancarlo Palmerio, ha inoltre consentito di conoscere meglio la figura di fra' Paolo da Urbino, di spiegarne i processi ideativi, anche in relazione alla formazione culturale dell'architetto rinascimentale e alla sua attività come sperimentatore dei metodi progettuali indicati da Francesco di Giorgio Martini[5].

L'analisi mensoria della facciata e della pianta di Palazzo Viviano degli Atti (ora Pensi) a Todi, attribuito da alcuni all'architetto perugino Galeazzo Alessi, ha permesso di verificare che esiste una netta dicotomia metrica nell'ambito della facciata stessa: di fatto si è constatato che, mentre la divisione generale dei due piani inferiori risulta ben ritmata sulla base del braccio fiorentino, la parte più alta dell'edificio e della facciata stessa sono concordi con il piede perugino. In base, quindi, a queste osservazioni e a molte altre notizie storiche e documentali, è possibile fare il nome di Antonio da Sangallo il Giovane in merito alla prima progettazione e fase costruttiva di Palazzo Viviano degli Atti[6].

Nello studio delle opere edilizie, dunque, la ricerca inerente le unità mensorie impiegate nella realizzazione deve basarsi su un'indagine scrupolosa, legata al rilevamento, tale da evidenziare, delle opere medesime, i valori qualitativi degli spazi e delle strutture in funzione della cultura del tempo cui l'opera appartiene, valori insiti in essa fin dalla fase ideativa e non solo relativi alla sua realizzazione materiale.

È evidente che la progettazione stessa teneva conto, in certa misura, dei fattori derivanti dall'uso di particolari materiali e dalle loro caratteristiche dimensionali, dalla tecnologia e dalle concezioni spaziali proprie di un ben definito contesto storico. Di certo, sebbene la molteplicità delle unità di misura in oggetto, variabili nel passato da luogo a luogo, le inevitabili alterazioni e varianti rispetto all'idea progettuale originaria, dovute a fattori contingenti come l'esperienza delle maestranze, il particolare contesto ambientale, la durata dei lavori ed eventuali interruzioni e riprese di essi, facciano sì che la ricerca e l'individuazione delle antiche unità mensorie siano spesso tutt'altro che facili, tuttavia esse risultano indispensabili per una giusta interpretazione dell'organismo architettonico oggetto di studio.

Per quanto attiene ai campioni delle unità di misura e dei materiali da costruzione, essenziali per la comprensione della relazione architettura-analisi mensoria, molti di essi sono presenti nelle strade, nelle piazze e nei musei delle nostre

Fig. 1. Cremona, Battistero. Particolare del basamento esterno con due campioni di materiali da costruzione (tegola e mattone).

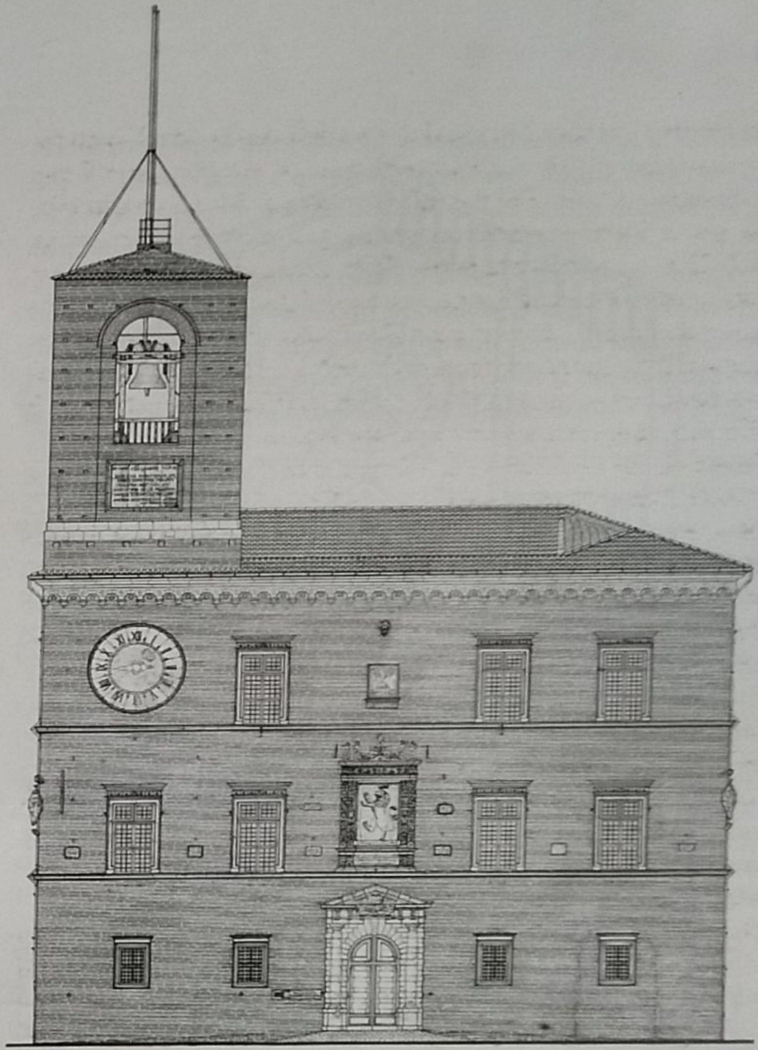
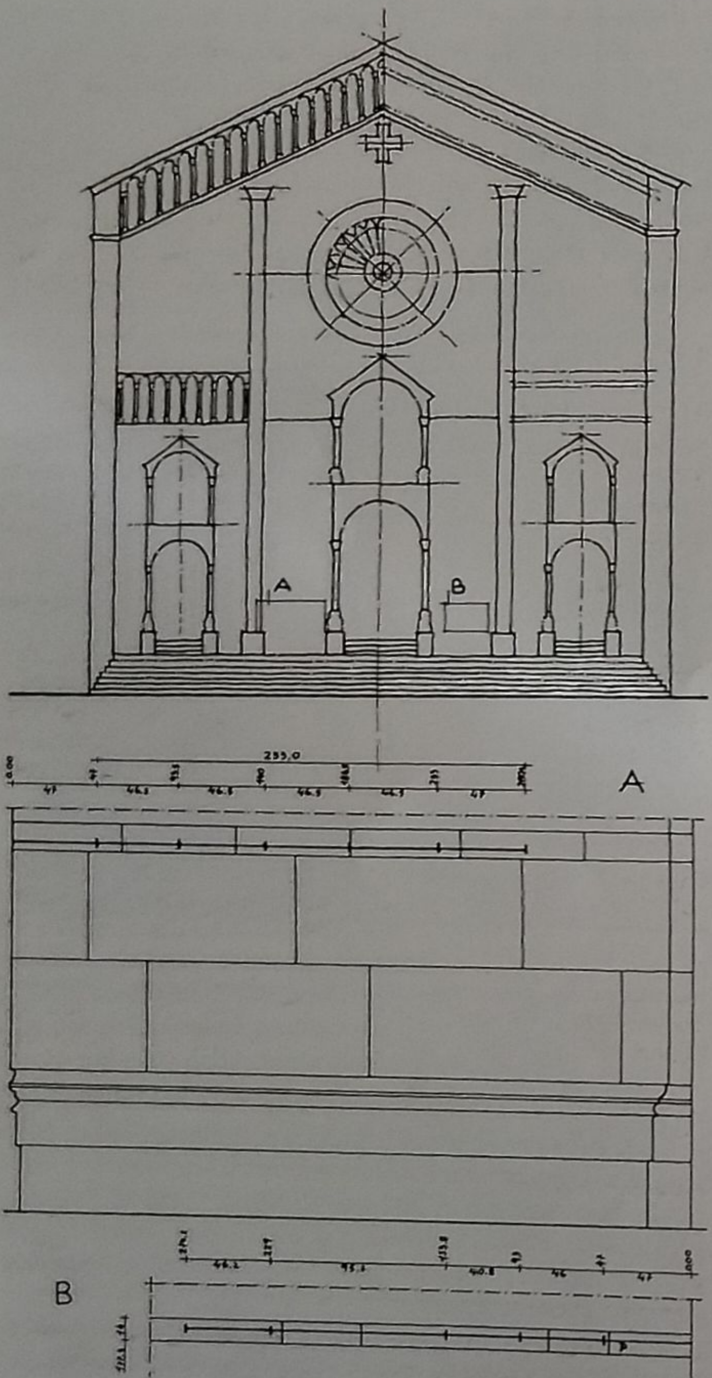


Fig. 2. Jesi, Palazzo della Signoria. Facciata principale con campioni mensorii e laterizi sul lato sinistro (guardando) del portone d'ingresso. Rilevamento M. Agostinelli, F. Mariano.

città o nelle sedi delle Accademie Scientifiche ed è abbastanza facile, volendo, misurarli e studiarne le caratteristiche. Essi si possono dividere in quattro categorie: in primo luogo, quelli presenti in edifici, inseriti durante la costruzione degli stessi, come campionario di controllo dei materiali da costruzione per la realizzazione del monumento in oggetto, come, ad esempio, nel duomo di Modena o nel Battistero di Cremona (fig. 1); in secondo luogo, quelli collocati in luoghi pubblici (piazze, palazzi comunali ecc.) (fig. 2), che servivano per le contrattazioni; in terzo luogo, quelli semplicemente incisi sulla parete di un edificio, che servivano come unità fissa di riferimento per l'attività interna del cantiere (cfr. duomo di Piacenza, fig. 3; Abbazia di Santa Maria di Pulsano, presso Monte Sant'Angelo, fig. 4 ecc.); infine, quelli inseriti in diversi edifici pubblici o privati dopo l'introduzione del sistema metrico decimale[7].

Va tuttavia evidenziata la difficoltà di fornire una documentazione esaustiva di tutte le unità di misura, dal momento



che la maggior parte delle opere del passato sono state prodotte servendosi di unità di misura locali, variabili nel tempo, e ciò anche in epoche di più sentita *koiné* mensoria, quali quella greca e quella romana, in cui un'unica unità di misura, come il piede o il cubito o braccio, poteva comunque variare alquanto. È solo molto tardi infatti, in seguito alla convenzione inerente il metro, sottoscritta a Parigi nel 1875 da diciassette Stati, che si viene a consolidare un sistema internazionale di unità di misura, rapidamente diffusosi poi in tutto il mondo.

Ai fini del presente studio si è ritenuto utile fornire almeno un quadro sintetico relativo ad alcune delle unità mensorie lineari utilizzate nei periodi di maggiore attività costruttiva nelle principali civiltà o città, precisando però, che il valore di queste è espresso in rapporto all'attuale unità di misura, il metro, e che sovente esso non può essere determinato con assoluta precisione per discordanza delle fonti e dei campioni.

Egitto. La civiltà egizia, spinta dalla naturale esigenza di valutare le cose e i fatti cui dava vita o con cui veniva in contatto, rapportandoli alle dimensioni del corpo umano, fu tra le prime ad elaborare e adottare un sistema di misura coordinato.

La necessità di disciplinare le operazioni fondamentali della vita sociale (traffici, quantità dei materiali, ripartizione di terre, dimensionamento di fabbricati, calcolo delle distanze ecc.) portò alla razionalizzazione di alcune misure basila-

Fig. 3. Piacenza, duomo. Unità di misura incise, sulla facciata, ai due lati dell'ingresso principale.

Fig. 4. Monte Sant'Angelo (Foggia), Abbazia di Santa Maria di Pulsano. Unità di misura lineari (cm 73,5 quella superiore e cm 32,5 quella inferiore – piede).

ri, cui far riferimento con una buona attendibilità. Nel tempo, però, le unità fondamentali vennero modificate o sostituite in relazione a fatti contingenti, a vicende politiche e anche all'egemonia di questa o quella nazione.

Come in tutte le altre civiltà antiche, in Egitto era in uso un sistema antropomorfico: cioè le unità di misura – il cubito, la spanna, il piede ecc. – erano poste in relazione alla lunghezza di alcune parti del corpo umano. Il cubito naturale o piccolo, ad esempio, corrispondeva alla lunghezza dell'avambraccio più quella della mano, fino al pollice compreso, e corrispondeva a due spanne, ognuna di tre palmi, divisi a loro volta in quattro digiti per palmo (figg. 5, 6).

Il cubito era l'unità base di lunghezza, diffusa, come il piede, sia in Egitto, sia in quasi tutte le zone del Vicino Oriente e la sua misura variava dai 45 cm (cubito naturale o piccolo) ai 52,5 cm del cubito reale, tipico del periodo filetereo. Anche la sua suddivisione, però, fu diversa da periodo a periodo: per ciò che riguarda il cubito reale, si conosce una divisione più antica in sette palmi o ventotto digiti e una più recente, di età tolemaica, in sei palmi o ventiquattro digiti.

Le costruzioni egiziane, e in particolare i templi e le piramidi, si prestano egregiamente ai riscontri mensorii. La semplicità geometrica delle forme, la buona conservazione dovuta al materiale impiegato, la regolarità degli impianti planimetrici di molte grandi opere egizie permettono di desumere con una certa attendibilità le unità di misura impiegate per la loro edificazione, senza contare che campioni mensorii sono stati recuperati tra gli oggetti appartenenti a diversi corredi funerari. Le dimensioni della grande piramide di Gizha, ad esempio, presso Il Cairo, consentono di acclarare l'impiego del cubito reale per la sua progettazione e la sua

Fig. 5. Braccio pieghevole, egiziano, conservato presso il Museo egizio di Torino.

Fig. 6. Braccio egiziano conservato presso il Museo egizio di Torino.

realizzazione, al tempo della quarta dinastia (ca. 2723-2563 a.C.); i lati della base quadrata misurano, infatti, ciascuno circa 230,35 ml, che corrispondono a 440 cubiti reali, di 52,35 cm, del tempo di Cheope (intorno al 2600 a.C.).

La misura base per il calcolo delle distanze era, invece, lo stadio[8], pari a 600 piedi, corrispondenti a circa 210 ml nel periodo filetereo, e a circa 185 ml nel periodo alessandrino. Unità di misura delle lunghezze era anche il piede, a sua volta suddiviso in palmi e digiti (piede alessandrino = cm 30,81).

Egitto								
Misure più antiche								metri
Dito			1	4	12	24		0,0187
Palmo				1	3	6		0,0750
Spanna					1	2		0,0225
Cubito naturale						1		0,4500
Cubito reale (=7 palmi = 28 dita)								0,5250
Piede			1	100	600	18.000	36.000	0,3000
Catena				1	6	180	360	30,0000
Stadio					1	30	60	180,0000
Parasanga						1	2	5.400,0000
Scheno							1	10.800,0000
Misure fileterie								
Dito	1	4	16	160	1.600	9.600	70.000	0,0225
Palmo		1	4	40	400	2.400	18.000	0,0900
Piede			1	10	100	600	4.500	0,3600
Pertica				1	10	60	450	3,6000
Catena grande					1	6	45	36.0000
Stadio						1	7,5	216,0000
Miglio							1	1.620,0000
Cubito piccolo								0,5100
Cubito grande								0,7200
Misure alessandrine								
Piede			1	1,5	600 ca.			0,3081
Cubito				1	400 ca.			0,4625
Stadio					1			184,5800

Grecia. Pur in presenza di lievi differenze dimensionali da luogo a luogo, due erano le principali unità di lunghezza ado-

perate nel mondo ellenico: il piede attico, pari a cm 29,6, e il piede olimpico, di cm 30,8; ambedue con multipli e sottomultipli. Il piede attico si avvicinava maggiormente alla misura di quello usato nell'ambito delle civiltà egiziana e mesopotamica, mentre dimensioni decisamente minori sembra avessero il piede ionico, pari a cm 27,75, e quello che era alla base dello «stadio», usato da Eratostene, pari a cm 26,25. Il piede era a sua volta suddiviso in quattro palmi o 16 digiti, mentre il braccio o cubito misurava cm 44,4; quanto allo stadio, equivaleva a 600 piedi (ml 177,6) o a sei plethra oppure a 240 passi[9].

Grecia								
Palmo	1	4	6	10	400	2.400	metri	0,0740
Piede		1	1 1/2	2 1/2	100	600		0,2960
Cubito			1	1 1/6	66 1/6	400		0,4440
Passo				1	40	240		0,7400
Plethro (jugero)					1	6		29,6000
Stadio						1		177,6000
Piede ionico								0,2775
Piede olimpico								0,3080

Roma. Molto meglio delle precedenti civiltà conosciamo, per quanto concerne il sistema di misurazione in uso, quella romana, sia per la maggiore chiarezza e copiosità delle fonti scritte, sia per i molti ritrovamenti che, direttamente o indirettamente, hanno fornito dati sulle unità e sugli strumenti di misura. Il sistema di misure adottato e diffuso nel periodo dell'Impero romano risulta di derivazione greco-attica; va rilevato però che usi locali più antichi, come quello del *pes oscus* o *italicus* (cm 27,5 ca.) e di altre unità di misura, continuarono ad essere utilizzati in varie parti d'Italia anche dopo l'introduzione del piede[10] di circa 29,6 cm riferibile a quello greco-attico (figg. 7, 8, 9).

Come quello greco, il piede romano era suddiviso in quattro palmi o sedici digiti, oppure in dodici pollici.

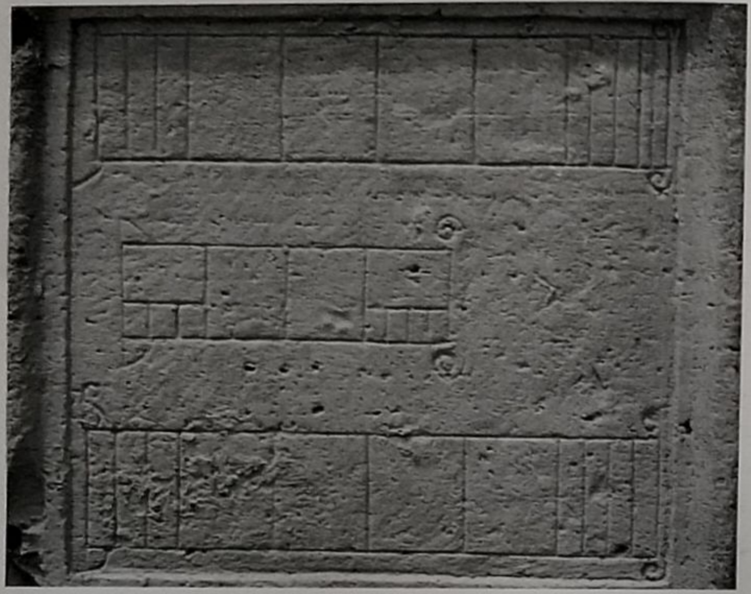


Fig. 8. Unità di misura incise su pietra, dal mercato di Augusto in Leptis Magna.

Fig. 7. Cubito pieghevole romano ritrovato a Pompei, conservato presso il Museo Archeologico Nazionale di Napoli.

Fig. 9. Roma, Palazzo dei Conservatori. Cippo di M. Ebuzio Macedone, con strumenti di misura (archipendolo, piede, filo a piombo ecc.).

Roma								
Palmo	1	4	6	10	40	20.000	metri	0,0740
Piede		1	1 1/2	2 1/2	10	5.000		0,2956
Cubito			1	1 1/2	6 2/3	3.329		0,4440
Passo (gradus)				1	4	2.000		0,7400
Pertica (decempeda)					1	500		2,9560
Miglio (miliarum)						1		1.478,0000

Secoli VI-XIV. Con l'affievolirsi e il trasformarsi della koiné mensoria imposta dai Romani, ogni zona finì per variare le misure trasmesse dal mondo classico. Dal tempo di Giustiniano (527-565)[11] infatti, i campioni delle unità di misura furono conservati, per legge, presso le chiese[12], consuetudine che si protrasse fino al tardo Medioevo, ma la mancanza di un efficiente controllo ufficiale, il moltiplicarsi del numero degli Stati, l'autonomia di molte città, il deterioramento materiale delle misure in uso e il loro rifacimento, senza tener conto del campione ufficiale, fecero sì che i modelli relativi a lunghezza, peso e capacità si discostassero sempre più dai campioni originari. La trasformazione dei sistemi di misurazione riguardò dapprima ambiti abbastanza vasti, poi si restrinse ad ambiti regionali e infine locali. In pratica, ogni città adottava misure proprie, senza preoccuparsi troppo di quelle in uso in città anche vicine, pur essendo tutte le unità mensorie basate, almeno nominalmente, sulle antiche unità antropometriche[13].

La frammentazione si accentuò con l'introduzione di unità di misura finalizzate a speciali categorie di prodotti e con l'adozione, da parte di determinate istituzioni, di particolari metodi per valutare i prodotti loro dovuti o per acquistare merci per proprio uso o consumo[14], con conseguenze deleterie.

Carlo Magno e san Bernardino da Siena, ad esempio, tentarono in vario modo ma inutilmente, di estirpare il malcostume dell'uso della doppia bilancia, una per comprare e un'altra per vendere, che invece perdurò con vari espedienti in molti Stati fino al tardo Medioevo e oltre. Non di rado, poi, una stessa misura veniva computata in modo diverso per differenti settori d'utilizzo o di pagamento; con conseguenti gravi controversie che, per lungo tempo, contrapposero le autorità ecclesiastiche a quelle civili in merito al predominio dei rispettivi sistemi mensorii[15].

L'esigenza di relazionare i vari sistemi di misura divenne pertanto così forte nel tardo Medioevo che si avvertì l'esigenza di scrivere diversi trattati in merito, come quello di Francesco Pegolotti Balducci, della prima metà del sceolo XIV, dal titolo *Libro di divisamento di pesi e misure per i mercatanti*.

In generale si può asserire, salvo rare eccezioni, che le misure fondamentali ereditate dal mondo classico (palmo, piede, braccio o miglio) si siano attestate, a partire dall'Alto Medioevo fino a tutto il periodo gotico, attorno a quote ben maggiori di quelle antiche (piede: da 30 a 45 cm; braccio: da 55 a 80 cm; miglio: da 1500 a 4500m).

Secoli XV-XVI. La situazione suddetta non migliora molto durante il Rinascimento: fin dal secolo XIV, infatti, molti comuni o repubbliche, come quella di Pisa, avevano provveduto ad acquisire il controllo dei campioni mensorii, trasportandoli dalle chiese ai palazzi comunali o sulle piazze, e avevano tentato, nello stesso tempo, di ridefinire il complesso delle unità mensorie, separatamente, ciascuna però, dalle altre comunità urbane. La città di Pisa si distinse, in questo campo, per aver adottato, fin dall'ultimo quarto del secolo XV, le unità di misura di Firenze, ben tre secoli prima che ciò venisse imposto ufficialmente. Ma questo fu e rimase un caso isolato.

Un contributo significativo allo sviluppo degli studi nel campo dimensionale diedero gli architetti e gli artisti del Rinascimento, sia attraverso la ricerca di una legge di proporzionalità intercorrente tra le varie parti del corpo, sia mediante l'indagine relativa all'individuazione di un modulo di lettura pertinente alle opere antiche e finalizzato alla progettazione delle nuove fabbriche. Fin dalla prima metà del XV secolo Leon Battista Alberti definisce, infatti, un proprio sistema di misure, basato su un modulo («exempeda») corrispondente alla sesta parte del corpo umano; in seguito, Francesco di Giorgio Martini approfondisce lo studio sul rapporto tra modulo antropomorfico e architettura, come faranno anche Leonardo da Vinci, Albrecht Dürer e Cesare Cesariano.

L'importanza del problema è testimoniato dalle molte personalità che se ne occuparono. Preziose informazioni sull'arte mensoria legata alle attività pratiche, oltre che all'arte del costruire, sono fornite, ad esempio, da Mariano di Jacopo (1380-1453?), detto il Taccola[16], da Antonio Manetti[17], da Luca Pacioli[18], da Georg Agricola[19], da Vincenzo Scamozzi[20] e da Gualtherus Hermenius Rivius[21] (conosciuto anche come Walther Hermann Ryff) (fig. 10).

Tra le unità di lunghezza più diffuse durante il Rinascimento si possono annoverare il braccio[22], con i suoi multipli e sottomultipli, tra cui la canna e la pertica, mentre per il calcolo delle superfici, l'unità base di varie regioni era il braccio quadro da terra (mq 0,303 ca.)[23]. Altra unità di misura caratteristica del secolo XVI è il palmo, molto utilizzato nei secoli successivi tanto in architettura, quanto in topografia, soprattutto nei suoi multipli (figg. 11, 12a,b).

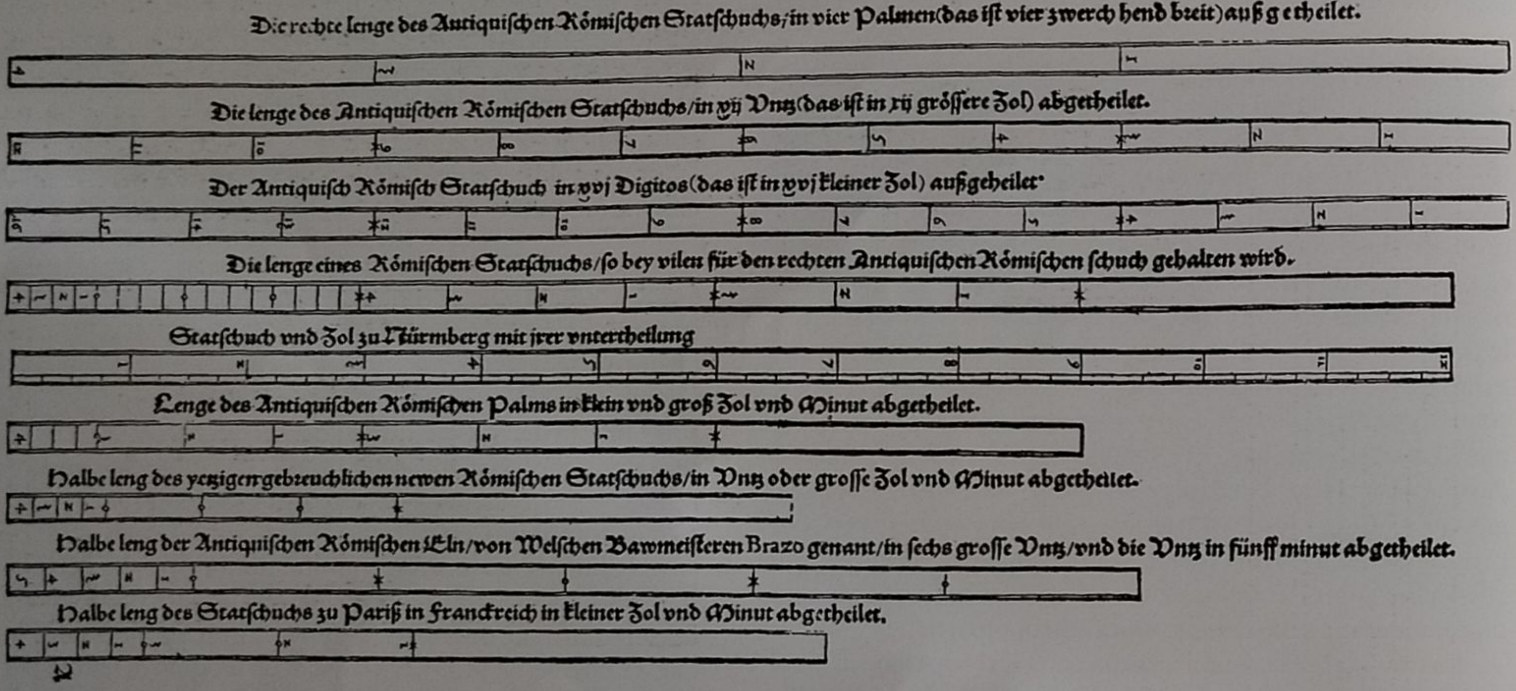


Fig. 10. G.H. Rivius (o W.H. Ryff) (1547). Tavola di ragguaglio delle unità di misura antiche ed attuali. Le prime tre immagini, dall'alto verso il basso, riguardano la lunghezza giusta dell'antico piede romano suddiviso in quattro palmi, in 12 once o pollici grandi e in 16 dita o pollici piccoli (piede = cm 30,8 ca.). La quarta concerne «la lunghezza del piede romano ritenuto da tanti il giusto 'schuc' romano» (piede = cm 29,7 ca.). La quinta rappresenta il piede e il pollice di Norimberga e la loro suddivisione (piede di Norimberga = cm 29,7 ca.); la sesta è la lunghezza dell'antico palmo romano suddiviso in pollice grande e piccolo e minuto (palmo = cm 22,4 ca.); la settima la «metà lunghezza dell'attuale nuovo piede romano suddiviso in oncia, pollice grande e minuto» (1/2 piede = cm 32,76 ca.); l'ottava la «metà lunghezza dell'antico cubito romano» (chiamato Brazo dai costruttori stranieri) suddiviso in 6 once grandi e l'oncia è suddivisa in 5 minuti (cubito = cm 47 ca.); la nona infine è la «metà lunghezza del piede di Parigi in Francia, suddiviso in oncia e minuto» (piede di Parigi = cm 34,4 ca.).

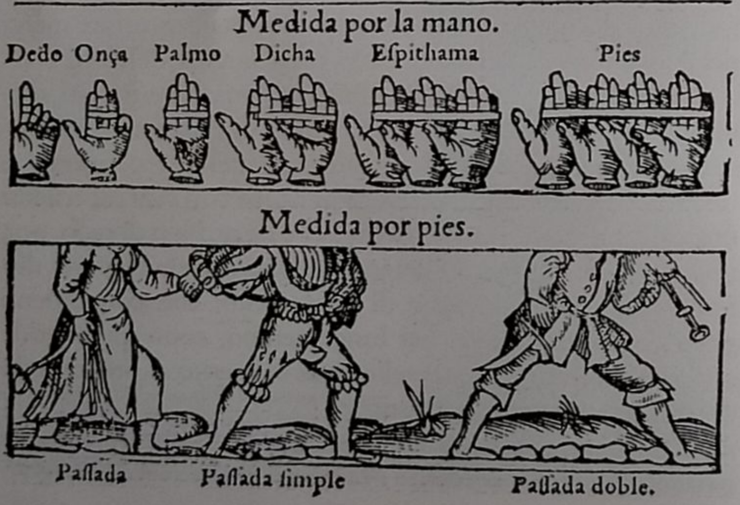
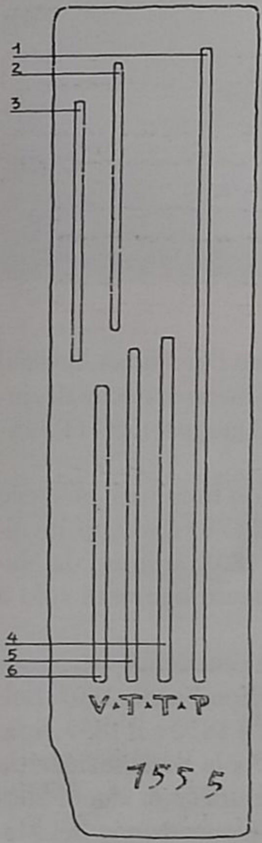


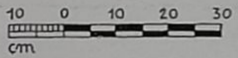
Fig. 11. P. Apiano (P. Bienewitz) (1548). Esemplificazione delle unità di misura relazionate alla mano e al piede (passo = 2 piedi; passo semplice = 2,5 piedi; passo geometrico o doppio = 5 piedi).

Secoli XVII-XIX. Il processo di differenziazione delle unità mensorie continuò anche nel secolo XVII: ogni città, ogni zona, anche di uno stesso Stato, intese crearsi un proprio complesso di misure; altre, già in uso, variarono secondo il settore d'impiego (figg. 13, 14). Talora una stessa unità corrispondeva a misure e nomi differenti, a seconda del tipo prevalentemente adoperato in una certa zona: si ebbero così, in varie parti d'Italia, un piede da falegname, un piede da fabbrica, un piede agrimensorio, un piede censuario, un piede manuale, un piede liprando, nonché un piede legale (figg. 15, 16). Le misure di questa unità, poi, variavano moltissimo (dai 29,2 cm del piede legale ai 51 cm del piede liprando), con conseguenze, per le transazioni commerciali, per le costruzioni, per i relativi materiali e per l'economia in genere, che tutti possono immaginare[24]. È intuibile, quindi, perché da più parti, fin dal secolo XVI, la ricerca, dimostratasi quanto mai laboriosa e difficile, di una qualche uniformità nei sistemi di misurazione, almeno nell'ambito di uno stesso Stato, e lo stu-

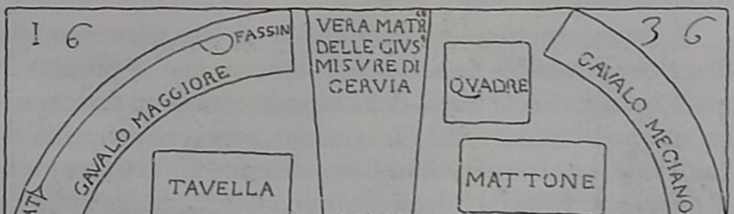


a

Fig. 12a,b. Cervia. Unità di misura dei secoli XVI e XVII: a) varie impronte di misure di braccio e braccio doppio; 1 = cm 124,4; 2 = cm 52,4; 3 = cm 51; 4 = cm 68; 5 = cm 65,4; 6 = cm 58,4; b) piede agrimensorio = cm 65,2; brazzo de marzaro = cm 63,5; passo da tela = cm 136,05; passo de zocchi = cm 159,8.



b



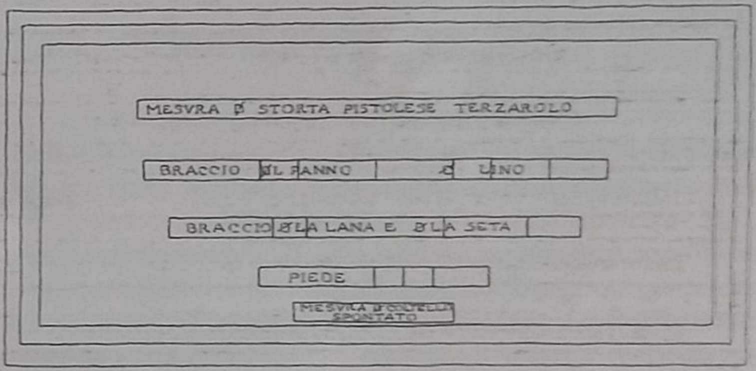


Fig. 13. Città di Castello, Palazzo municipale. Unità di misura del sec. XVI, dall'alto verso il basso: a = cm 70 ca.; b = cm 67,5; c = cm 60; d = cm 33,5; e = cm 23,2.

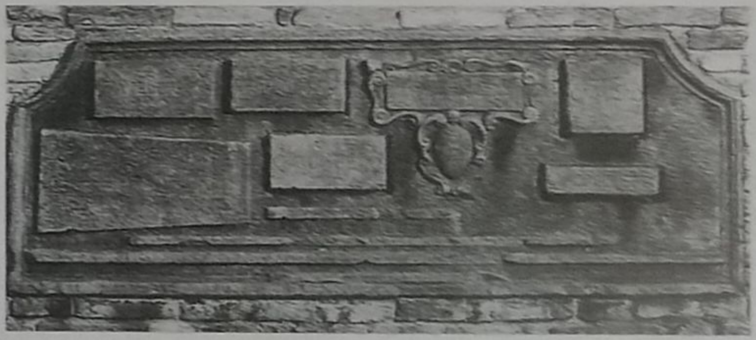


Fig. 14. Longiano, Palazzo municipale. Lastra lapidea, del 1624, con campioni di laterizi e di unità di misura lineari. Piede comune = cm 54,5; passetto comune = cm 125; altra unità di misura = cm 180.

Fig. 15. Ravenna, Palazzo municipale. Lastra lapidea, del 1625, con campioni di laterizi e di unità di misura lineari. Brazzo = cm 65; piede agrimensorio = cm 58; piede da marano = cm 35; M(isura) del carro de zocchi = cm 152.

Fig. 16. Città di San Marino, «domus communis». Lastra lapidea con alcuni tipi di laterizi e le principali unità di misura antichi.

dio delle relazioni fra i tanti sistemi in uso siano stati sollecitati e siano divenuti una costante per molti studiosi, fino all'introduzione del sistema metrico decimale.

Per quanto riguarda il secolo XVII, si possono fare i nomi di Edward Bernard[25], di Jean Picard, che nel 1670 propose di assumere come unità base, per le lunghezze, la dimensione di un pendolo battente il secondo a 45° di latitudine e al livello del mare, e di Tito Livio Burattini, che caldeggiò (1675) l'adozione della misura proposta da Picard, denominandola «metro cattolico, nel senso di misura universale»[26].

Al secolo XVIII appartengono, invece, le opere di Johann Caspar Eisenschmid[27], di Bernardo Vittone[28], che affronta la comparazione di ben 43 sistemi di misura del suo tempo, e di Girolamo Francesco Cristiani, che dedica la sua opera[29] soprattutto alla soluzione dei problemi mensorii degli architetti. Alla fine del secolo XVIII (1791), grazie alla decisione della commissione formata da Jean Charles Borda (1733-1799), Jean Antoine Condorcet (1743-1794), Joseph Louis Lagrange (1736-1813), Pierre Simon Laplace (1749-1827) e Gaspard Monge (1746-1818) di adottare quale misura fondamentale di lunghezza il metro, ossia la quaranta milionesima parte del meridiano terrestre, e grazie alla definizione da parte degli astronomi Jean Baptiste Delambre, Pierre Méchain e Jean Charles Borda della misura dell'arco di meridiano compreso tra Dunkerque e Montjujch, presso Barcellona, inizia il processo di determinazione del sistema metrico decimale, introdotto definitivamente per legge il 22 giugno 1799 (4 messidoro anno VI) in Francia[30].

L'introduzione del nuovo sistema non fu rapida, né facile neppure in tale nazione: adottato fin dal 1799 appunto, ne divenne obbligatorio l'uso a partire dal 1801; sospeso da Napoleone nel 1812, fu reso definitivamente operante solo a partire dal 1840[31].

Tra l'inizio del secolo XIX e il 1875 esso venne fatto proprio non senza difficoltà da molti Stati (Lombardia 1803, Belgio e Olanda 1820, vari Stati italiani tra il 1830 e il 1855, Spagna 1860, Italia 1861, Germania 1872) e la sua adozione da parte della maggior parte degli Stati europei e di alcuni Stati extraeuropei venne ratificata a Parigi (Convenzione del Metro) il 20 maggio 1875[32].

Il sistema metrico decimale ha da un lato permesso una maggiore intesa tra Stati e popoli diversi, ma ha portato in molti settori, tra cui quelli della rappresentazione cartografica, dell'architettura e del rilevamento, una vera e propria rivoluzione, una frattura destinata a divenire antitesi, tra unità di misura derivata da calcoli astro-geodetici, astratta quindi e totalmente disancorata da qualsiasi rapporto antropometrico e da qualunque sistema precedente.

Principali misure lineari dei secoli XVII-XIX

Milano		
Piede	ml 0,43	(= 12 once)
Braccio mercantile	» 0,59	
Trabucco	» 2,61	(= 6 piedi)
Gettata	» 5,22	(= 2 trabucchi)

Bologna		
Piede agrimensorio	ml 0,3818	(= 12 once)
Braccio mercantile	» 0,6400	
Pertica	» 3, 8188	(= 10 piedi)

Venezia		
Piede	ml 0,3477	(= 12 once)
Pertica piccola (ghebbo)	» 1,564	(= 4,5 piedi)
Pertica grande (cavezzo)	» 2,0864	(= 6 piedi)
Passo	» 1,7386	(= 5 piedi)
Braccio da seta	» 0,6387	
Braccio da lana	» 0,6833	

Firenze		
Braccio da terra	ml 0,5512	(abolito nel 1782)
Pertica	» 3,3072	(6 bracci da terra)
Braccio fiorentino o da panno	» 0,5836	
Canna mercantile	» 2,3345	(= 4 bracci)
Canna agrimensoria	» 2,9181	(= 5 bracci)

Teramo		
Prima del 1840		
Palmo abusivo	ml 0,263	
Passo	» 1,841	(= 7 palmi)
Canna abusiva	» 2,109	(= 8 palmi)
Pertica	» 2,63	(= 10 palmi)
Catena	» 18,41	(= 10 passi)
Dal 1840		
Palmo	» 0,264	
Canna legale	» 2,645	(= 10 palmi)

Roma		
Palmo romano	ml 0,2234	
Canna architettonica	» 2,234	(= 10 palmi)
Catena architettonica	» 11,1711	(= 5 canne architettoniche)
Piede	» 0,2956	
Catena agrimensoria	» 12, 847	

Napoli		
Palmo	ml 0,2645	(secondo altri A. ml 0,2637)
Pertica architettonica	» 2,645	(= 10 palmi)
Passo da arsenale di marina	» 1,757	(= 6,66 palmi)
Passo itinerario	» 1,845	(= 7 palmi)
Passo di terra o pertica agrimensoria	» 1,933	(= 7,33 palmi)

Palermo		
Palmo	ml 0,258	(= 12 once)
Canna	» 2,0647	(= 8 palmi)
Catena	» 8,259	(= 4 canne)
Corda	» 33,0365	(= 4 catene)
Miglio	» 1486,6425	(= 45 corde)

Elementi di metrologia

L'uomo ha sempre cercato di approfondire la conoscenza scientifica dei fenomeni naturali e artificiali che lo circondano attraverso tre metodi fondamentali: 1) classificazione; 2) comparazione; 3) misurazione.

Il primo metodo (classificazione) consiste nel raggruppare determinati fenomeni in classi omogenee (o famiglie), a cui un fenomeno appartiene o non appartiene; il secondo (comparazione) nell'impiego di modelli e di processi logico-deduttivi, attraverso i quali sia possibile catalogare un fenomeno; il terzo (misurazione), infine, è un procedimento che tende a definire in termini di quantità un determinato fenomeno. Per poter tradurre in quantità un fenomeno, ci si deve basare su una serie di convenzioni, che permettano di esprimere in modo non ambiguo il dato quantitativo.

La misurazione ha subìto in questi ultimi anni uno sviluppo vertiginoso, tanto da divenire vera e propria disciplina, comunemente chiamata «metrologia». Sartori ne dà questa definizione: «La metrologia è la scienza che si occupa dello studio dei princìpi, dei metodi e dei mezzi necessari per effettuare la misurazione di una grandezza fisica»[33].

Attraverso lo strumento di misura, assunto in modo convenzionale, è possibile trasformare gli oggetti in numeri, operazione che è prodotto dell'intelletto umano, posta in essere per meglio comprendere e rappresentare la natura. La misurazione è volta a quantificare una qualità dell'oggetto preso

in esame, isolandola dalle altre: si tratta, in altre parole, di riconoscere nell'oggetto una qualità e di identificarne l'entità attraverso una quantificazione numerica.

L'operazione di misura si può dunque suddividere in due fasi: a) individuazione e discretizzazione di una qualità dal complesso delle altre compresenti nell'oggetto; b) traduzione in numero dell'intensità della qualità isolata (fig. 17).

Risulta, pertanto, profondamente errata l'opinione comune che identifica l'operazione del misurare con un semplice atto tecnico, tendente a tradurre delle quantità in numeri. Infatti, all'origine di questa operazione, esiste una scelta critica effettuata sull'oggetto, per renderlo discreto, onde stabilire ciò che deve essere misurato. Un rilevatore che si accinga a misurare un'opera architettonica non può evidentemente rilevare gli infiniti punti che la compongono, ma deve operare delle scelte e discretizzare il continuum della materia, riducendola a un numero limitato di punti. Questi ultimi devono avere, inoltre, un valore strategico: occorre, in altre parole, che siano significativi, al fine di evidenziare i valori che l'opera contiene. Ne consegue che l'operazione del misurare è al tempo stesso analisi e selezione di certe qualità: per far ciò è necessario che l'operatore sia preparato culturalmente e tecnicamente a effettuare queste scelte. Egli, infatti, deve separare il superfluo dall'essenziale, in modo che i punti selezionati, una volta rilevati e tradotti in rappresentazione grafica, costituiscano un modello che rappresenti le reali qualità dell'oggetto rilevato.

Basterà raffrontare certi disegni di architettura con il modello reale per rendersi conto di come alcuni di essi, malgrado l'esattezza delle misure, non riproducano il carattere e lo spirito dell'edificio reale. Ad ulteriore conferma, si può dire che un complesso cornicione barocco, costituito da molte sagome, può, ad una certa scala di riduzione, essere sintetizzato con tre o quattro linee: il problema è quello di comprendere quali, fra le linee che lo costituiscono, possano essere eliminate e quali invece debbano essere mantenute.

Se la prima fase delle operazioni di misura nasconde queste difficoltà poco note, la seconda, quella della quantificazione, pone invece problemi precisi, quali il ricordare che ogni operazione di misurazione non è mai fine a se stessa e che gli scopi cui è finalizzata ne stabiliscono il grado di precisione.

Prima di affrontare il problema della precisione, però, è utile dare una definizione generale delle operazioni che si compiono nella misurazione di una grandezza. Il Sartori propone il seguente schema[34]:

a) vanno definite le operazioni e i mezzi tecnici da impiegare;

b) ripetendo, nelle stesse condizioni e con gli stessi mezzi, le medesime operazioni sulla stessa grandezza, si devono ottenere risultati compresi entro un intervallo valutabile a priori;

c) i risultati ottenuti consentono di prevedere le interazioni che le grandezze avranno con le altre, anch'esse misurabili, risultando noto a priori l'intervallo di indeterminatezza delle previsioni;

d) alcune di queste interazioni, infine, che possono essere provocate artificialmente e controllate dallo stesso sperimentatore, permettono la costruzione o la verifica di un modello matematico tale da consentire le previsioni stesse.

Questo schema completo e generale, valevole per tutti i tipi di misurazione, consente di fare alcune considerazioni sul tipo di misurazione che qui interessa più da vicino, vale a dire quello delle lunghezze.

Si può dire, in termini elementari, che l'operazione di misurazione consiste nel confronto della grandezza che si vuole misurare con l'unità di misura. L'indicazione della lunghezza è rappresentata da un numero che fornisce il rapporto tra la lunghezza da misurare e l'unità di misura. Se si definisce, pertanto, una finestra alta m. 1,55, significa che il rapporto fra l'altezza della finestra e il campione (nel nostro caso, il metro) è espresso dal numero 1,55.

Ripetendo l'operazione di misura con lo stesso campione, nelle stesse condizioni, si ottengono valori diversi, sia pure tutti raggruppati in un intervallo assai limitato. Il concetto di misura esatta è solo un aspetto al limite, in quanto non ci si può fare che un'opinione intorno al vero valore di una misura. Nelle operazioni di misurazione non è possibile pervenire all'esatta determinazione della misura, ciò per effetto di errori di osservazione, che possono essere suddivisi in tre distinte classi: errori materiali o grossolani; errori sistematici o regolari; errori accidentali o irregolari. Gli errori materiali o grossolani derivano generalmente dalla poca diligenza dell'operatore e quindi possono essere facilmente eliminati, dedicando molta attenzione e cura alle operazioni di misurazione; uno degli errori tipici appartenenti a questa categoria è l'errore di trascrizione delle misure. Gli errori sistematici o regolari si manifestano

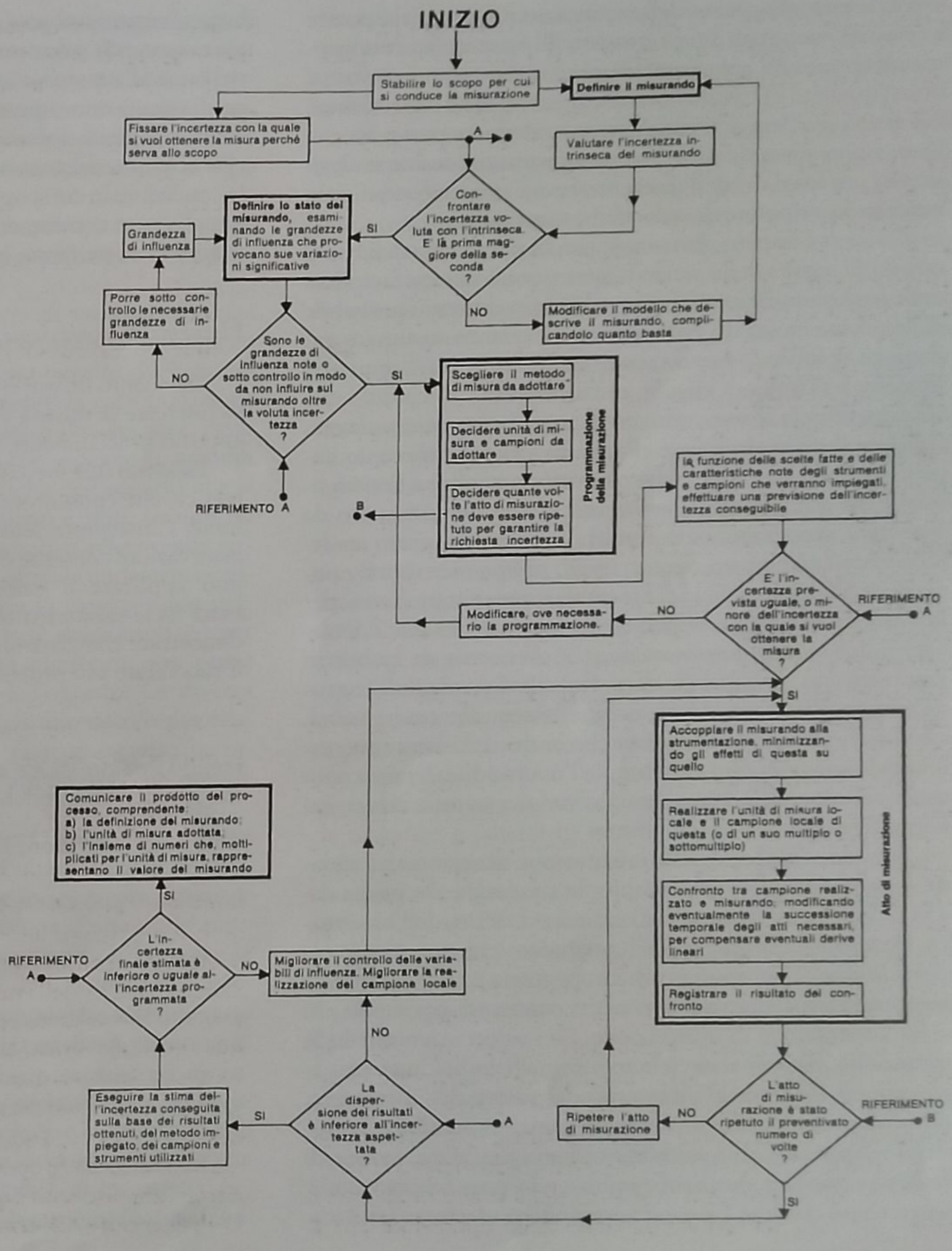


Fig. 17. Diagramma riproducente il processo di produzione di una misura. Cfr. S. Sartori (a cura di), *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società*, Torino 1979.

regolarmente al ripetersi delle misurazioni e sono da imputare a cause diverse, quali difetti strumentali e particolari condizioni ambientali; un errore peculiare di questo tipo è dovuto a uno strumento di misurazione che presenti delle imprecisioni. Gli errori accidentali o irregolari sono dovuti a cause diverse, spesso non prevedibili, e pertanto costituiscono uno degli aspetti più insidiosi dell'operazione; essi sono riducibili solo ricorrendo a ripetute e sistematiche osservazioni.

Come si è appena detto, solo con la ripetizione delle operazioni di misura sullo stesso oggetto, con lo stesso metodo e nelle stesse condizioni si può parlare di valore più probabile della misura stessa. In conseguenza di quanto asserito, è più corretto definire la misura come un insieme di tre dati: a) il numero; b) l'unità di misura; c) l'incertezza.

L'incertezza, come vedremo in seguito, è funzione diretta dello stato dello strumento di misura, del procedimento impiegato, dello stato del soggetto e della sua natura. È evidente che, se si misurerà più volte una stanza con un metro da muratore, si otterranno risultati che oscilleranno entro un determinato campo (incertezza); molto più piccolo sarà il campo di oscillazione, e quindi l'incertezza, se si impiegherà, per la misurazione, una rotella metrica a nastro metallico di elevata precisione; se la misurazione si riferisce a un mobile in legno lavorato con grande cura, l'oscillazione risulterà ancora minore. Risulta evidente, da queste semplici osservazioni, che l'incertezza è un elemento che entro certi limiti può essere calcolato da colui che compie l'operazione di misurazione, in relazione alle strumentazioni impiegate, alla natura del soggetto e agli scopi cui è diretta.

Se si deve evidenziare la misurazione di una stanza, si deve a rigore definire, ad esempio, la sua larghezza pari a cm 432 ± 1: si è così associato alla misura il valore dell'incertezza. Da quanto esposto si può concludere che non è corretto porsi la domanda se una misura sia giusta o sbagliata, ma è necessario procedere per successivi confronti, ripetendo più volte l'operazione di misurazione. Se i valori ottenuti con le nuove misurazioni si avvicinano a quelli individuati con le precedenti, rientrando all'interno del valore dell'incertezza, si può dire che le varie misurazioni siano compatibili. Si preferisce il termine compatibilità o incompatibilità, invece di «misura» giusta o sbagliata, non essendo possibile esprimersi in termini assoluti. Come si noterà, si è preferito usare il termine «incertezza», anziché «errore», adoperato nel linguaggio comune. Si tenga presente, infatti, che la parola «errore» richiama alla mente un possibile sbaglio fatto nell'operazione di misurazione, mentre l'incertezza non è attribuibile ad errori effettuati durante tale operazione, ma è connaturata con la natura del soggetto, con lo strumento di misura e con le condizioni in cui si opera. La misura è incerta, dunque, non per gli errori commessi, ma per sua stessa natura. Cercare la misura vera, pertanto, è un'utopia.

Elementi di teoria degli errori

Da quanto fin qui esposto, risulta evidente l'impossibilità di ricercare la misura vera, mentre è possibile valutare, con appositi procedimenti, l'incertezza.

Esistono due metodi complementari, derivati dalla matematica, che consentono di pervenire a una stima dell'incertezza. L'interpretazione dei risultati di una serie ripetuta di osservazioni consente di realizzare una serie omogenea, cui si può applicare il calcolo statistico; la lettura così effettuata ha le caratteristiche di una variabile aleatoria[35]. Si può dimostrare che, data una serie di letture $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots X_n$ il suo valore più probabile X_m deriva dalla media aritmetica dei valori osservati: $X_m = \dfrac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots X_n}{N}$. Non conoscendo il valore di X e avendolo identificato con il valore medio X_m, si possono definire i valori degli scarti:

$$v_i = X_m - X_i;$$

la varianza può essere calcolata con l'espressione:

$$\varrho = \frac{[vv]}{N-1}$$

eseguito tale calcolo, è possibile pervenire, con l'estrazione di una radice quadrata, al valore dell'errore medio, denominato anche «errore quadratico medio» o «scarto quadratico medio», definito dalla seguente espressione:

$$\mu = \pm \sqrt{\varrho} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{N-1}}$$

i valori [vv] indicano le sommatorie.

Si dimostra, così, che lo scarto quadratico medio gode della proprietà per la quale, nell'intervallo compreso tra ± ϱ, cade il 68,3% dei valori assumibili dalla variabile. Attraverso l'impiego delle formule sopra riportate e con un numero elevato di misurazioni, è possibile calcolare lo scarto quadratico medio che può essere assunto come incertezza della misura.

È opportuno osservare in modo più sistematico quali siano le cause che concorrono alla costituzione dell'incertezza:

a) *incertezza intrinseca nell'oggetto da misurare*. Si è già detto che, attraverso un numero, si costruisce un modello capace di quantificare la qualità di un oggetto. Nel campo in questione si utilizza prevalentemente la quantificazione delle lunghezze per definire il parametro dimensionale degli oggetti architettonici, ma il numero che esprime la quantità non può cogliere tutte le caratteristiche dell'oggetto che si sta misurando. Negli esempi precedenti è stato fornito un numero che esprimeva il dato quantitativo relativo alla larghezza di una stanza. Basta pensare al reale andamento delle due pareti che delimitano la stanza in oggetto (non perfetto parallelismo dovuto alla superficie degli intonaci) per rendersi conto di come la quantità numerica non possa esprimere perfettamente la natura dell'oggetto. La diversa natura dei materiali e le differenti lavorazioni, solo per citare alcuni elementi, determinano in ciascun oggetto un'incertezza derivante dalla sua particolare natura, che prende il nome di «incertezza intrinseca»;

b) *lo stato dell'oggetto da misurare*. Ogni oggetto subisce l'influenza dell'ambiente che lo circonda: il variare di alcuni parametri, per esempio umidità e temperatura, influisce in maniera notevole sulla sua dimensione. Pertanto lo stato dell'oggetto da misurare condiziona significativamente la misura, contribuendo a determinare l'incertezza. Il diametro della cupola di San Pietro in Vaticano, per esempio, può variare di alcuni centimetri, a seconda se viene misurato in estate o in inverno;

c) *procedimento di misurazione impiegato*. Anche un'operazione semplice, come quella di rilevare le misure di una stanza, può essere fatta con diverse metodologie, ad ognuna delle quali corrisponde un diverso grado di incertezza. Se, ad esempio, si accostano due aste da un metro, è quasi inevitabile che esse non siano perfettamente allineate. Ne consegue che la lettura effettuata fornirà un valore più alto di quello ottenuto misurando con un'unica asta rigida da due metri;

d) *strumento di misura impiegato*. La graduazione di uno strumento di misura elementare come il metro può essere effettuata con una precisione maggiore o minore, ma mai potrà essere *perfettamente* identica al metro campione; inoltre, lo strumento di misura è costruito con una certa imprecisione rispetto al campione di riferimento: tutto ciò contribuisce all'incertezza della misura. Tuttavia nello strumento di misura interviene anche un altro parametro che può influire sull'incertezza: il suo stato. È noto, ad esempio, quale sia l'influenza della temperatura sulla lunghezza dei metalli; pertanto, uno strumento di misura come la rotella metallica da m 20 può subire variazioni sensibili della sua lunghezza, a seconda della temperatura ambientale;

e) *operatore*. Anche l'operatore contribuisce alla formazione dell'incertezza, poiché egli deve, attraverso i suoi organi, compiere una serie di operazioni, quali la scelta della posizione degli strumenti di misura e la lettura del valore misurato. Si sa, ad esempio, che il potere separatore dell'occhio umano è di circa mm 0,10; ne consegue che, a vista, non è possibile apprezzare valori inferiori a tale entità. Alla sensibilità ed esperienza dell'operatore è demandato anche l'apprezzamento del valore, quando una lettura ricade fra due successive graduazioni dello strumento di misura. Se, ad esempio, si misura la larghezza di una finestra con un metro da muratori graduato in centimetri, l'operatore può essere chiamato a stimare a vista l'intervallo fra due successive graduazioni e a valutare, quindi, la frazione di centimetro necessaria per definire nel modo più corretto la misura.

Da quanto si è osservato, l'incertezza di una misura può essere valutata attraverso una serie ripetuta di misurazioni e calcolata quantitativamente con le formule illustrate in precedenza.

In conclusione si può dire che, data una serie di misurazioni tutte appartenenti alla stessa classe, il valore più probabile della misurazione va ricercato nella media aritmetica dei dati raccolti, e che la valutazione della dispersione dei dati, rispetto al valore medio, può essere calcolata determinando l'errore quadratico medio.

La valutazione dell'incertezza nel rilevamento architettonico

Si è visto come ogni misura sia sempre accompagnata dalla relativa incertezza. Nel rilevamento architettonico si effettuano operazioni di misura assai diverse, sia per la natura degli strumenti impiegati, sia per il tipo di misurazione. Risulta pertanto estremamente complesso tracciare un quadro generale e fornire informazioni pratiche al rilevatore, affinché possa avere un punto di riferimento, ai fini dell'incertezza (precisione), da osservare nelle operazioni di misurazione. Va inoltre tenuto conto che il rilevamento si conclude sempre con un elaborato grafico, che rappresenta in una determinata scala l'opera rilevata. Anche la raffigurazione presenta, per sua natura, un'incertezza, che è legata alle caratteristiche del segno con cui vengono tracciate le varie linee. Come è noto, non è possibile delineare e apprezzare visivamente linee ricadenti in uno spessore inferiore a 2 o 3 decimi di millimetro. Ne consegue che il cosiddetto «errore di graficismo» è valutabile appunto intorno ai 2-3 decimi di millimetro. Se si effettua la misurazione di un disegno con un decimetro, il posizionamento delle incisioni graduate, rispetto allo spessore della linea, risulta difficile e il possibile errore è quello che abbiamo definito in precedenza errore di graficismo. Poiché questa incertezza è costante, sia nei disegni a piccola scala che nei disegni a grande scala, questo tipo di errore aumenta progressivamente nel passaggio dai disegni a grande scala a quelli a piccola scala; ad esempio, un errore di 3/10 di millimetro, effettuato su un disegno in scala 1:1000, corrisponde a un errore di 30 cm nella misura reale. Queste osservazioni ci consentono di affermare che, nella determinazione dell'incertezza (precisione) di un rilevamento, va tenuto anche conto della scala di rappresentazione, dovendosi valutare anche l'errore di graficismo. Infatti, è perfettamente inutile cercare di ottenere un'incertezza più piccola dell'errore di graficismo relativo alla scala di rappresentazione adottata, dal momento che questo valore non può essere raggiunto con i mezzi grafici[36].

Nella tabella che segue sono riportati gli errori di graficismo alle varie scale:

scala 1:10	errore	(± cm 0,2 ÷ 0,3)
scala 1:20	»	(± cm 0,4 ÷ 0,6)
scala 1:50	»	(± cm 1 ÷ 1,5)
scala 1:100	»	(± cm 2 ÷ 3)
scala 1:200	»	(± cm 4 ÷ 6)
scala 1:500	»	(± cm 10 ÷ 15)
scala 1:1000	»	(± cm 20 ÷ 30)
scala 1:2000	»	(± cm 40 ÷ 60)

Un criterio generale da adottare nel rilevamento architettonico, per la precisione delle misure, potrebbe essere quello di far coincidere l'incertezza con l'errore di graficismo; tuttavia, se tale criterio è accettabile per le scale di rappresentazione da 1:100 e oltre, esso non può essere adottato per le scale più grandi, 1:50 e seguenti. Ad esempio, se si misura la lunghezza di una facciata di un edificio da rappresentare in scala 1:50, l'incertezza, se assunta pari all'errore di graficismo, dovrebbe essere mantenuta entro cm 1-1,5. Sul piano pratico, con strumenti diretti, come aste metriche o nastri metallici, non si riuscirebbe a rientrare in questi valori, tenuto conto dell'incertezza che essi generano. Si può dunque dire che, per le grandi scale di rappresentazione, occorre che l'incertezza sia definita valutando la metodologia di misurazione, senza tener conto dell'errore di graficismo.

Per il rilevamento diretto delle distanze, alcuni enti produttori di cartografia fissano l'incertezza con varie formule. Ad esempio, il Catasto italiano adotta i seguenti valori:

$t = 0{,}015\sqrt{D} + 0{,}0008D$ in terreno piano
$t = 0{,}020\sqrt{D} + 0{,}0008D$ in terreno ondulato
$t = 0{,}025\sqrt{D} + 0{,}0008D$ in terreno sfavorevole.

Il coefficiente di proporzionalità 0,0008 è derivato dalla tolleranza ammessa (± 2,5 mm) nella campionatura dei triplometri.

Per quanto attiene al rilevamento architettonico effettuato con nastri o con triplometri, si suggerisce di prendere come base i valori esposti dal Boaga[37] e valutati entro i seguenti limiti:

$t = 0{,}45 \div 1{,}45$ mm per metro.

Questo valore si avvicina a quello ottenuto attraverso le esperienze personali degli autori, in occasione del rilevamento diretto di vari edifici; si ritiene pertanto che possa costituire un valido punto di riferimento.

Come si può osservare, ritornando all'esempio della facciata lunga 30 m, nell'ipotesi di assumere un'incertezza pari a mm 1 per metro (valore intermedio tra quelli proposti dal Boaga), l'incertezza complessiva sarà di cm ± 3 e quindi ben superiore all'errore di graficismo (1-1,5). Il problema assume maggiore rilevanza nel caso si dovesse adottare la scala 1:20, poiché l'errore di graficismo scenderebbe a cm 0,4-0,6, mentre la tolleranza strumentale resterebbe sempre di cm ± 3.

In sintesi si può dire che, per rilevamenti con scale 1:100 o con denominatore più grande, l'incertezza sia identificata con quella grafica e che quindi il suo valore possa essere assunto come parametro da associare all'indeterminatezza della misura; per scale 1:50 o con denominatore più piccolo, occorre invece fissare l'incertezza in relazione agli strumenti e alle metodologie impiegati nelle operazioni di misura, poiché l'errore di graficismo è sempre inferiore a quello che si ottiene con il prelievo metrico. In questi casi si deve ricorrere alle incertezze fissate da tabelle o da esperienze pratiche, sul tipo di quelle sopra indicate.

Il rilevamento delle distanze, degli angoli o dei dislivelli, effettuato con strumenti topografici, comporta anch'esso un problema di incertezza (precisione). In questi casi risultano determinanti la precisione dello strumento impiegato e le sue caratteristiche costruttive. Per maggiori informazioni si rinvia ad uno dei tanti trattati di topografia, in cui il lettore potrà trovare tutti i dati relativi ai valori dell'incertezza nel rilevamento strumentale[38].

In linea generale si può dire che gli strumenti topografici consentono un'elevata precisione, tanto che l'incertezza è sempre inferiore all'errore di graficismo.

Note

[1] Alcune popolazioni avevano per unità fondamentale il *braccio* (Mesopotamia, Egitto), altre il *piede* (Grecia), altre entrambe queste misure (Roma). Il *miglio* romano (= ml 1480), ad esempio, corrispondeva a 1000 passi e ogni passo a 5 piedi. L'*actus* romano (= ml 35,52) corrispondeva alla lunghezza di un solco aperto da una coppia di buoi con una forte spinta, così come l'*actus* quadrato (misura di superficie di 120 piedi di lato) era equivalente all'area lavorata da una coppia di buoi in mezza giornata.

[2] Ovviamente egli, come noi oggi, era ben lungi dal lamentarsi dell'adozione delle nuove unità di misura, ma constatava soltanto quanto queste avrebbero allontanato dalla comprensione dei rapporti dimensionali o armonici insiti negli edifici antichi.

[3] Il *braccio* era unità fondamentale, nel sistema mensorio fiorentino, per le misure lineari. Ne esistevano due tipi: l'uno, detto *braccio da terra*, pari a cm 55,12, usato in agrimensura e abolito con legge del 2 luglio 1782; l'altro, detto *braccio da panno*, uguale a cm 58,36, in vigore fino al 1° luglio 1861 e adoperato per tutti gli altri usi. Cfr. M. Fondelli, *Le tecniche mensorie nel XV secolo*, Firenze 1978.

[4] Cfr. L. Benevolo, S. Chieffi, G. Mezzetti, *Indagine sul S. Spirito di Firenze*, in «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura», serie XV, fasc. 85-90, a. 19.

[5] Per la chiesa di San Donato d'Angarano, cfr. M. Salvatori, *Le prime sedi francescane*, in *Lo spazio dell'umiltà*, in «Atti del Convegno di Studi sull'edilizia dell'Ordine dei Minori», Fara Sabina 3-6 novembre 1982, ove l'autore affronta lo studio di varie chiese francescane anche sulla base delle unità mensorie antiche. Per lo studio sul convento di Santa Maria di Rignano si veda G. Palmerio, *Il convento di Santa Maria delle Grazie a Rignano Flaminio*, Roma 1984.

[6] Cfr. D. Maestri, *Medidas y proporciones en la arquitectura antigua*, in «Boletin de Arte», Universidad de Málaga, 1997, n. 18. Oltre agli esempi citati molti altri se ne potrebbero segnalare. Ricordiamo qui F. Bergonzoni, *Caratteristiche architettoniche e metriche della Madonna del Monte*, in I. Nikolajevic, *La Madonna del Monte*, Bologna 1973; M.T. Bartoli, *Numero e geometria nel disegno dei palazzi fiorentini del sec. XV*, in E. Mandelli, *Palazzi del Rinascimento. Dal rilievo al confronto*, Firenze 1989; R. Vila Rodriguez, *Una aproximaciò geometrica a la composiciò arquitectonica de l'esglesia de Sant Quirze de Pedret*, in «Quaderns científics i tècnics», n. 4, *II Simposi: Actuacions en el patrimoni edificat: la restauraciò de l'arquitectura dels segles IX i X*, Barcelona-Berga 10-11 desembre 1991; M.T. Bartoli, *«Musso e non quadro» La strana figura di Palazzo Vecchio dal suo rilievo*, Ospedaletto 2007.

[7] Negli ultimi anni osservazioni e ricerche realizzate per identificare questi campionari mensorii antichi hanno permesso, grazie anche alle indicazioni fornite da amici e studiosi, di redigere un elenco di città italiane, grandi e piccole, che conservano tali oggetti: Asti, Cremona, Bergamo, Milano, Bologna, Cervia, Correggio, Ferrara, Forlì, Longiano, Modena, Piacenza, Ravenna, Rimini, Sant'Arcangelo di Romagna, San Marino, Firenze, Livorno, Pisa, Volterra, Assisi, Città di Castello, Todi, Ancona, Urbino, Fano, Ascoli Piceno, Jesi, Osimo, Amelia, Roma, Tarquinia, Tivoli, Sarnano, Bari, Salerno, Acireale, Palermo, Partinico, Polizzi Generosa ecc.

[8] La lunghezza dello «stadio» subì, con l'andar del tempo, varie modifiche; ipotesi di vario genere vengono fatte, inoltre, da alcuni studiosi anche a proposito di uno stesso tipo di tale unità, data la scarsità e la difficoltà di interpretazione delle fonti antiche.

[9] Erone d'Alessandria, uno degli autori antichi che più si sono interessati a questioni di misura, considerava il miglio di ml 1575, lo stadio di ml 210, il cubito di cm 52,5 e il piede di 35 cm. A Eratostene viene attribuito invece il calcolo e l'adozione, per computi geografici e astronomici, di uno stadio pari a ml 157,50. Altre misure ipotizzate per lo stadio greco sono di 175 e 185 ml.

[10] I valori, per quanto riguarda il piede romano, variano da autore ad autore entro limiti che vanno da cm 29,4 (più comunemente 29,56) fino a cm 29,7. Si è quindi scelta la lunghezza più vicina a quella del piede attico, arrotondandola, a volte, a cm 29,6. Sulla misura del piede osco e dei suoi sottomultipli (palmi, digiti, pollices, digiti medii e semiuncia) si veda, ad esempio, quanto riportato da Giovanni Ioppolo in *Le terme del Sarno a Pompei*, Roma 1992.

[11] Cfr. U. Tucci, *Pesi e misure nella storia della società*, Torino 1973, vol. V.

[12] I campioni erano incastonati all'esterno, su un fianco o a lato di un portale o conservati nella sagrestia.

[13] Per il piede, ad esempio, si passa in generale da una misura di 30 cm, quindi vicina al piede di epoca romana, a una di 43 cm e, inoltre, ogni città aveva una propria misura compresa tra gli estremi citati.

[14] Cfr. W. Kula, *Le misure e gli uomini dall'antichità ad oggi*, Roma-Bari 1987, che contiene una ricca bibliografia sull'argomento.

[15] Cfr. ivi, pp. 18 sgg.

[16] M. di Jacopo, *Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis*, ms, sec. XV.

[17] A. Manetti, *Vita di Filippo Brunelleschi*, Firenze 1812.

[18] L. Pacioli, *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalità*, Venezia 1494.

[19] G. Agricola, *Libri quinque de mensuris et ponderibus*, Basilea 1533.

[20] V. Scamozzi, *L'idea dell'architettura universale*, Venezia 1615. Nel cap. XXIV (parte I, libro I), dal titolo *Che l'Architetto hor si dimostra speculativo, e talhor'attivo, e della conoscenza che egli dee havere delle misure, e che ad egli solo s'aspetta il trattar di questa facoltà*, l'autore tratta diffusamente tanto delle unità di misura antiche, quanto di quelle del suo tempo, allegando una tavola in cui vengono riportate le unità antiche, quelle delle principali città d'Italia, dello Stato veneto e di alcune città «di la da' Monti», rammaricandosi di non aver ricevuto in tempo per la stampa le informazioni relative a varie città d'Oltralpe.

[21] G.H. Rivius, *Der furnembsten notwendigsten*, Norimberga 1547. L'autore descrive le principali unità di misura antiche ancora in uso al suo tempo e riporta una tavola di raffronto tra i piedi romani antichi e quelli adoperati nel XVI secolo a Norimberga e a Parigi, e poi tra cubiti e palmi antichi ed attuali.

[22] A Parma, ad esempio, esistevano tre versioni del braccio: la prima, detta *da legna* (cm 54,52), la seconda, detta *da panno* (cm 63,95) e la terza, detta *da seta*, uguale a cm 58,78.

[23] Per i dati numerici di questa e di altre misure, cfr. A. Martini, *Manuale di metrologia*, Torino 1883.

[24] A puro titolo esemplificativo riportiamo le unità di lunghezza in uso in questi secoli a Milano e Roma, ricordando però, che tali misure non facevano fede in tutto lo Stato: in quello milanese, infatti, per citare solo un caso, il braccio di Milano sostituì gli altri bracci usati in Lombardia solo nel 1781, alle soglie dell'introduzione del sistema metrico decimale.

Milano – misure di lunghezza: miglio lombardo = 3000 braccia (ml 1784,80); gettata = trabucchi (ml 5,22); trabucco = 6 piedi (ml 2,61); braccio mercantile (ml 0,59); piede = 12 once (ml 0,54); oncia = 12 punti (ml 0,0362); punto = 12 atomi (ml 0,000252). Con decreto del 1803 vennero introdotte le seguenti unità di lunghezza: lega metrica = 10 miglia (ml 10.000); miglio = 400 trabucchi (ml 1000); decametro = 4 trabucchi (ml 10); metro = 10 palmi (ml 1); palmo = 10 dita (ml 0,10); dito = atomi (ml 0,01); l'atomo pari a ml 0,001.

Per quanto concerne Roma, la situazione è ancora meno semplice, avendosi per alcuni tipi di unità varie specializzazioni. Per quanto riguarda le lunghezze, si avevano: miglio geografico di 60 al grado (ml 1852, 010); miglio romano = 1000 passi (ml 1489,478); catena agrimensoria = 10 staioli (ml 12,846); catena architettonica = 5 canne architettoniche (ml 11,171); canna architettonica = 10 palmi romani (ml 2,234); canna mercantile = 8 palmi mercantili (ml 1,1991); passo = 5 piedi (ml 1,489); staiolo (ml 1,28 – per la misura dei terreni); braccio mercantile = 4 palmi da tela (ml 0,848); braccio o passetto = 3 palmi romani (ml 0,67); braccio da tela = 3 palmi da tela (ml 0,636); piede romano = 16 once (ml 0,297); palmo mercantile (ml 0,248); palmo romano = 12 once (ml 0,233); palmo da elo (ml 0,212); oncia = 5 minuti o 10 decimi (ml 0,0186); minuto = decimi (ml 0,003724); decimo (ml 0,001862). Per usi particolari si adoperavano anche il palmo sacro (ml 0,125), il braccio d'ara = 6 palmi sacri (ml 0,75) e la canna d'ara = 9 palmi (ml 1,125). Cfr. per questi dati Martini, *Manuale di metrologia* cit.

[25] E. Bernard, *Eduardi Bernardi De mensuris et ponderibus antiquis libri tres*, Oxford 1688.

[26] Cfr. S. Sartori (a cura di), *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società*, Torino 1979.

[27] J.C. Eisenschmid, *De ponderibus et mensuris veterum romanorum, graecoum, hebraeorum*, Strasburgo 1708.

[28] B. Vittone, *Istruzioni elementari per l'indirizzo dei giovani allo studio dell'architettura civile*, Lugano 1766.

[29] G.F. Cristiani, *Delle misure d'ogni genere antiche, e moderne con note letterarie, e fisico-matematiche, a giovamento di qualunque architetto*, Brescia 1760.

[30] Per una esposizione dettagliata delle vicende inerenti la codificazione del sistema metrico decimale, cfr. L. Vagnetti, *Architettura e metrologia*, Genova 1971.

[31] L'introduzione del sistema metrico decimale porta alla necessità di tavole di raffronto tra questo stesso e le antiche unità di misura, e alla stesura di saggi monumentali come quello di P. Kelly, *Le cambiste universel*, Paris 1823. Per la Francia ricordiamo, di G. De Thionville, *Nouveau traite des monnaies et des poids et mesures des principaux pais et des principales villes du globe*, Paris 1833; per l'Italia si segnala, di A. Balbi, *Tavole di ragguaglio dei pesi e delle misure già in uso nelle varie provincie del Regno col sistema metrico decimale: approvate con decreto reale 20 maggio 1877, n. 3836*, ed. ufficiale, Roma 1877.

[32] Il sistema metrico decimale trovò forti opposizioni, soprattutto nelle classi meno abbienti e in quelle legate all'agricoltura. Esso era evidentemente troppo matematico, scientifico ed astratto per essere accettato senza resistenza da persone abituate da secoli a ragionare in base a una serie di unità di misura collegate alle dimensioni delle varie parti del corpo umano e ad azioni della vita quotidiana assai radicate. Basti ricordare, ad esempio, lo jugero, che corrispondeva alla quantità di terra arabile in un giorno da una stessa coppia di buoi; lo stajolo a seme, che corrispondeva a una superficie seminata con uno stajo di grano; al quartuccio, che era la quantità di vino che una persona o una famiglia consumavano rispettivamente in un giorno o in un pasto ecc.

L'adozione del nuovo sistema da parte di architetti e rilevatori, nella prima metà dell'Ottocento, ha portato alla stesura sempre più generalizzata di grafici in scala di riduzione o quotati, con numeri e unità di misura che nulla hanno a che fare con la scala di progettazione originaria degli edifici.

[33] Sartori, *Le misure nella scienza* cit.

[34] Ivi, pp. 50-51.

[35] Per maggiori informazioni sul problema dell'interpretazione dei risultati delle misure, cfr. M. Fondelli, *Manuale di topografia*, Roma-Bari 1991, vol. I, pp. 120 sgg.

[36] Come è noto, è possibile ovviare in parte all'errore di graficismo attraverso la quotatura dei disegni; tuttavia, la quotatura non può essere estesa a tutti i punti rappresentati sul disegno. Ne consegue che, anche nei grafici muniti di quote, si deve ricorrere sovente alla lettura delle misurazioni attraverso l'unità di misura e con ciò si ricade nell'errore di graficismo. La pratica operativa consiglia, pertanto, di considerare l'errore di graficismo come una presenza fissa della quale tener conto.

[37] G. Boaga, *Introduzione al rilievo fotogrammetrico dei monumenti*, Roma 1970.

[38] Vedi Fondelli, *Manuale di topografia* cit., vol. II.

Capitolo terzo

Gli strumenti per il rilevamento architettonico

Gli strumenti utilizzati più comunemente nel rilevamento architettonico, archeologico ecc. possono essere suddivisi in quattro categorie: 1) strumenti per misurare le distanze; 2) strumenti per misurare gli angoli; 3) strumenti per misurare i dislivelli; 4) strumenti per creare o verificare allineamenti.

Più semplicemente, però, è possibile ridurre i gruppi a tre, in relazione alla metodologia di rilevamento a cui tali strumenti sono principalmente destinati: 1) strumenti per il rilevamento diretto; 2) strumenti per il rilevamento indiretto; 3) strumenti per il rilevamento fotogrammetrico e informatico.

È da sottolineare, infine, che gli strumenti più semplici e tradizionali svolgono ancora un ruolo essenziale nel rilevamento architettonico e la loro conoscenza è fondamentale per un buon rilevatore.

Gli strumenti per il rilevamento diretto

Filo a piombo. È uno strumento antichissimo, costituito da un cordino molto flessibile, che porta appesa ad un'estremità una massa metallica più o meno pesante, appuntita inferiormente per meglio posizionarla rispetto a un punto qualsiasi (fig. 1). Sostenendola, grazie al suo peso, il filo si dispone tangenzialmente alla linea di forza del campo gravitazionale terrestre, passante per il punto di sospensione, individuando così la *direzione verticale.* Il filo a piombo serve per molte operazioni: per il prelevamento di misure orizzontali rispetto alla verticale stabilita dal filo (rilevamento di modanature, di sporgenze ecc.), per determinare differenze di quota su brevi distanze, per controllare la verticalità di uno spigolo, per riportare a terra la proiezione di un determinato elemento ecc. Il filo a piombo è utile anche per posizionare, su un determinato punto del terreno, strumenti ottici quali «stazioni totali», teodoliti, squadri ecc.

Longimetri. Prendono il nome di *longimetri* gli strumenti per misurare le distanze, che vengono raggruppati in due categorie: 1) longimetri per misure dirette; 2) longimetri per misure indirette. Appartengono alla prima categoria tutti quegli strumenti che permettono di misurare direttamente le distanze, come ad esempio il metro, il doppio metro da muratore, i metri flessibili e le rotelle metriche, i misuratori telescopici, i distanziometri ecc., che possono essere usati per piccole distanze, per il rilevamento di dettagli architettonici

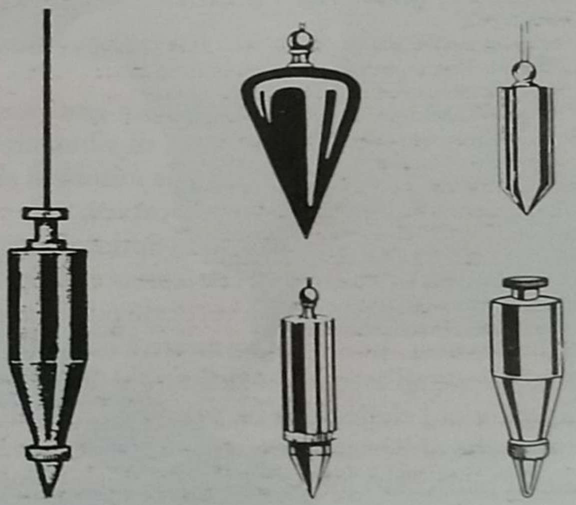


Fig. 1. Vari tipi di masse per «filo a piombo».

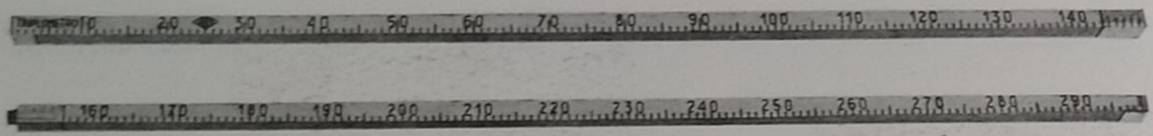


Fig. 2. Triplometro a due aste da m 1,5 con innesto a vite.

e nel caso in cui non sia possibile utilizzare altri tipi di longimetri.

Il *triplometro* (fig. 2), costituito da due o tre aste smontabili, di legno o di metallo leggero (alluminio anodizzato), con livella torica incorporata, che consente di disporre orizzontalmente lo strumento, serve per misurare differenze di quota su piccole distanze, per definire linee orizzontali, per misurare brevi distanze ecc.

La cosiddetta *rotella metrica* o *nastro metallico graduato* (fig. 3) è un altro longimetro di larghissimo impiego: si tratta di un nastro graduato, di lunghezza variabile (10-20-50 m), realizzato in metallo o in fibra di vetro, con scocca in acciaio o in tessuto plastificato rinforzato da fili metallici.

È ancora indispensabile nel rilevamento di ambienti, per effettuare piccole trilaterazioni, per controllare allineamenti murari e per molte altre operazioni.

L'impiego delle rotelle metriche richiede, però, molta cura ed attenzione da parte del rilevatore: occorre, infatti, assicurarsi dell'orizzontalità del nastro, del fatto che sia ben teso, non avvolto su se stesso ecc.

Il *misuratore telescopico* è costituito da un'asta graduata, estensibile mediante elementi telescopici, di alluminio anodizzato o in fibra di vetro, adoperata per la misura di altezze fino a dieci o più metri (fig. 4). L'asta telescopica, utile per rilevare ambienti a volta, sporgenze di vario tipo, colonne, particolari architettonici ecc., ha due livelle (torica e sferica), che servono per una buona disposizione verticale od orizzontale: la lettura della distanza che si vuol misurare è data automaticamente, in relazione all'estensione dell'asta stessa.

Negli ultimi anni l'elettronica ha permesso di realizzare molti strumenti che abbreviano i tempi di lavoro per la determinazione di particolari misure o per operazioni inerenti il rilevamento, ma soprattutto, permettono al rilevatore di operare autonomamente in diverse situazioni.

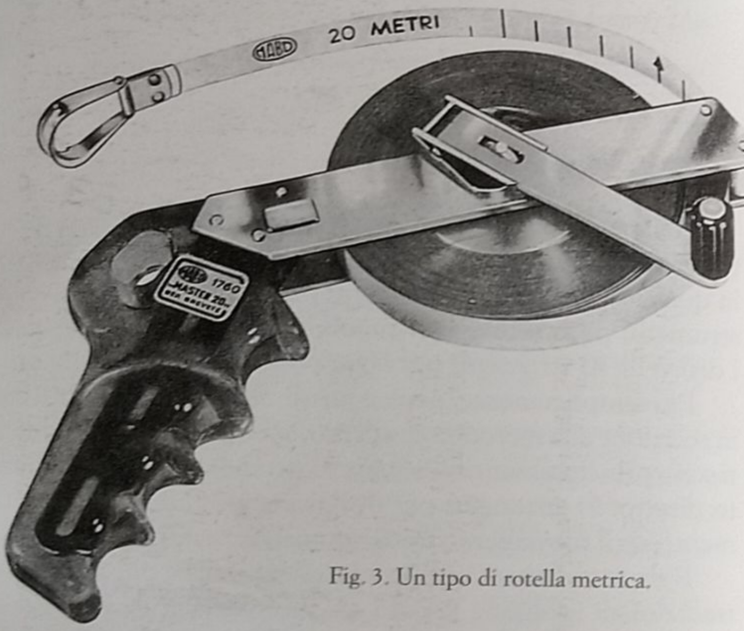


Fig. 3. Un tipo di rotella metrica.

Uno dei più utili e versatili è certamente il *misuratore di distanze* ad ultrasuoni o *distanziometro*, con puntatore laser, in grado di calcolare anche aree e volumi, di memorizzare i dati acquisiti e di essere messo in connessione con un computer per ulteriori elaborazioni dei dati stessi (fig. 5).

Altro strumento prezioso è il *livello laser* a raggio visibile, per interni ed esterni, autolivellante, e con allarme sonoro e visivo che, una volta posizionato sul treppiede, consente di tracciare, rapidamente e con buona precisione, una retta o un piano orizzontale sulle pareti di un ambiente (fig. 6). Alcuni di questi strumenti, in grado di effettuare anche misurazioni verticali, hanno un campo di utilizzo considerevole (fino a 300 ml, con ricevitore).

Si producono, oggi, anche sofisticate *squadre mobili* (dette comunemente *misuratori di angoli*), di alluminio, con doppia livella torica incorporata, in grado di misurare elettronicamente angoli da 0 a 180° (fig. 7).

Fig. 4. Misuratore telescopico TELEFIX (da metri 5, 8 e 10).

Fig. 5. Un distanziometro multifunzioni della Leica Geosystems.

Fig. 6. Livello laser della Leica Geosystems.

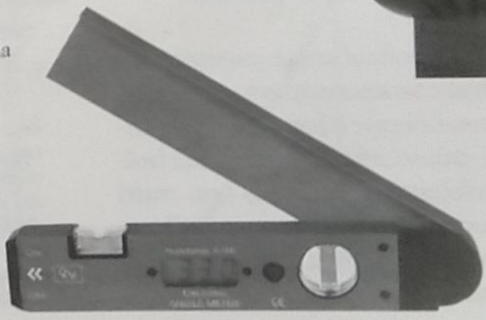


Fig. 7. Squadra mobile o squadra universale o misuratore di angoli.

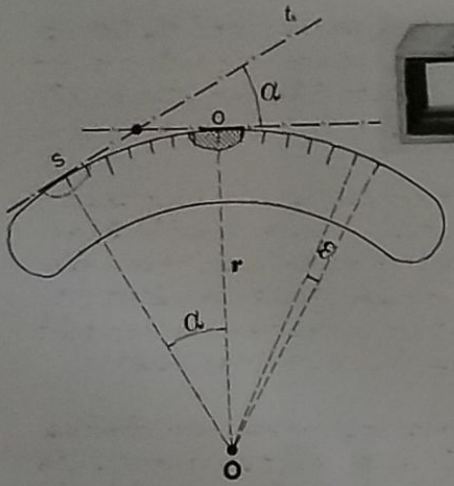
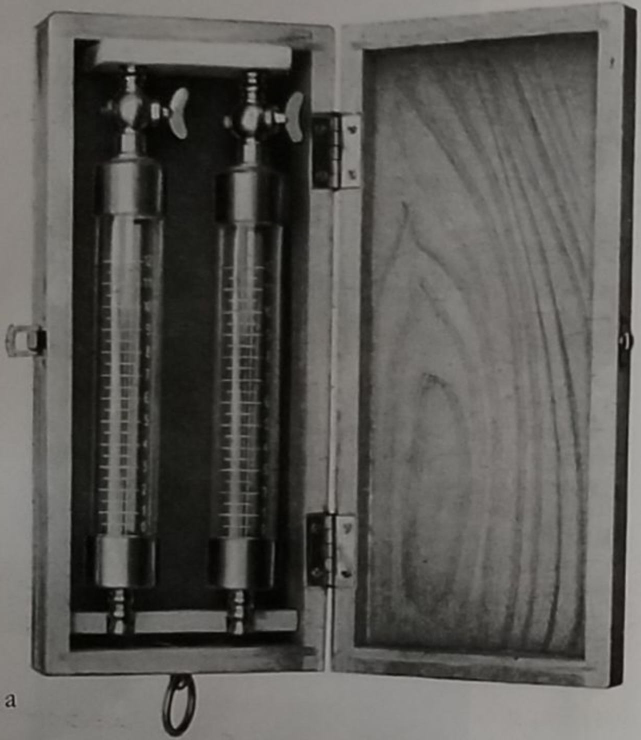
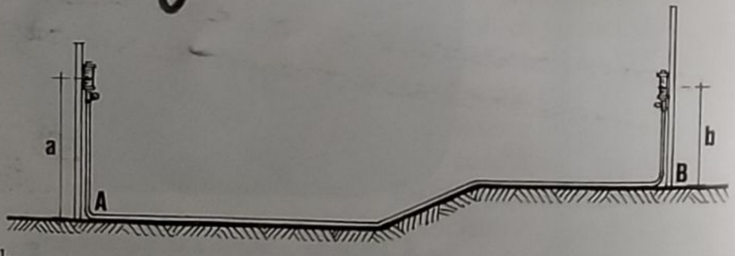


Fig. 8. Livella per il controllo di piani orizzontali, verticali e a 45°.

Fig. 9. Tipi diversi di livelle sferiche per strumenti topografici.



a



b

Fig. 10a,b. a) Bicchieri graduati per livello ad acqua. I due bicchieri vengono collegati da un tubo di gomma e riempiti d'acqua: il principio dei vasi comunicanti determina una stessa quota del liquido nei due recipienti; b) dislivello dei punti A e B, rilevato mediante la lettura su due aste verticali, con l'utilizzo del livello ad acqua: quando il livello del liquido si è stabilizzato, si indicano sulle aste i segni relativi al livello raggiunto; si misura, poi, con un metro, la differenza tra i punti da rilevare (al piede delle aste) e il livello dell'acqua: il dislivello dei punti è determinato dalla differenza delle due quote.

Un altro strumento utile per la misurazione diretta del diametro delle colonne, ad esempio, è il *diametrometro* tascabile, con nastro millimetrato su un lato, per le misure lineari, e sull'altro per la misura immediata dei diametri.

Livella. La *livella torica* o *livella a bolla d'aria* è costituita da una o più «bolle» diverse, montate su un supporto metallico di varia lunghezza (fig. 8). Ognuna di esse è formata da un tubicino di vetro, ermeticamente chiuso, che contiene una bolla d'aria entro un liquido. Il tubicino è graduato con tratti equidistanti di 2 mm; il suo punto intermedio prende il nome di *centro della livella* e quando la bolla d'aria lo occupa, lo strumento individua un allineamento orizzontale. Se la li-

vella viene posta prima in una direzione e poi ortogonalmente ad essa, si ottiene un piano orizzontale.

Attualmente vengono fabbricati moltissimi tipi di questi strumenti, compresi quelli con raggio laser ed inclinometro incorporati, per tracciare allineamenti fino a 100 metri di distanza o misurare pendenze.

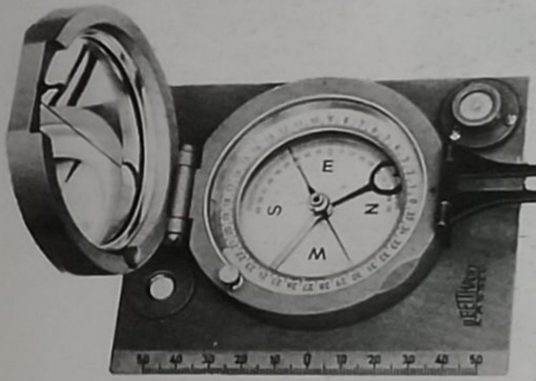


Fig. 11. Bussola.

Le *livelle sferiche* sono composte da una calotta sferica di vetro, riempita di liquido, che presenta una bolla circolare (fig. 9). Quando questa è al centro della calotta, la base della livella è orizzontale e ciò verifica l'orizzontalità del piano su cui poggia la livella stessa.

Uno strumento ancora utile, perché assai pratico per misurare, ad esempio, le differenze di quota o se si debba definire un piano orizzontale tra ambienti anche distanti tra loro, è il *livello ad acqua*, basato sul principio dei vasi comunicanti e costituito da due cilindri di vetro, graduati, e da un lungo tubo flessibile, riempito d'acqua, che li raccorda (fig. 10a,b).

Bussola. La *bussola* è costituita da un involucro cilindrico, munito di un cerchio gaduato, con una punta al centro, sulla quale è sospeso in equilibrio un ago calamitato mobile, che assume la direzione del *meridiano magnetico* e il suo apice indica il nord (fig, 11). Un sistema di collimazione consente, attraverso un traguardo, l'osservazione contemporanea dell'armilla graduata e della direzione del punto mirato. La direzione del meridiano magnetico e quella del meridiano geo-

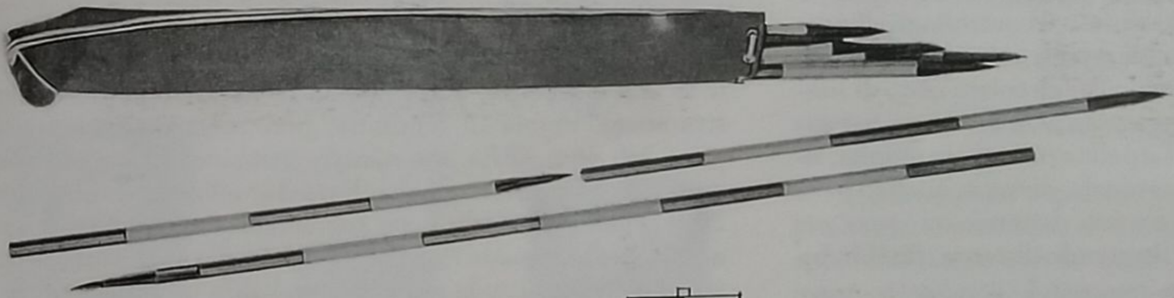


Fig. 12. Paline per allineamenti.

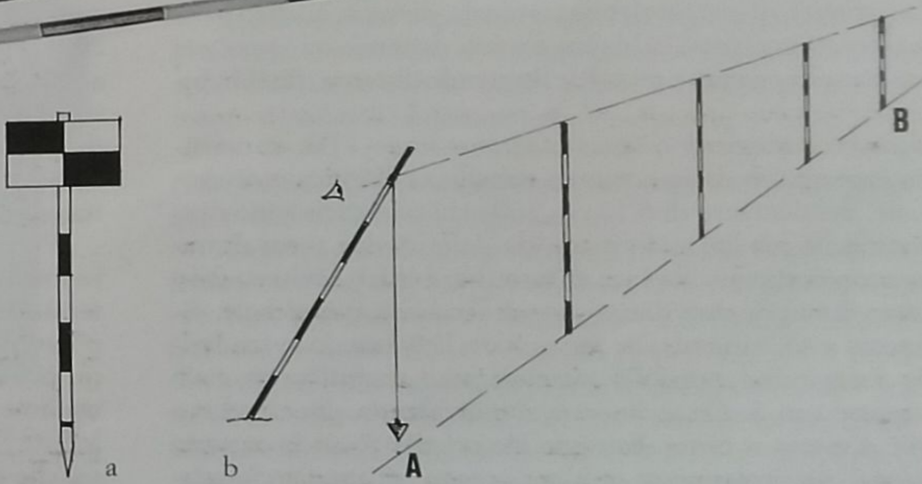
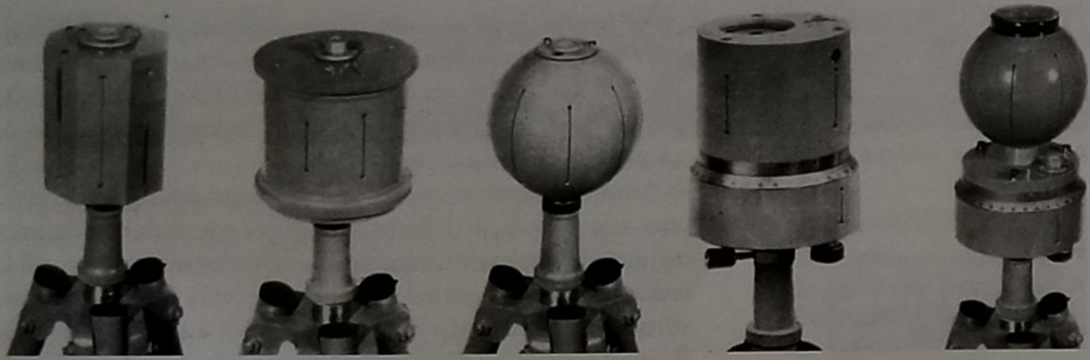


Fig. 13a,b. a) Palina con scopo, per una più facile individuazione del punto da collimare; b) allineamento tra i punti A e B a mezzo di paline e filo a piombo.



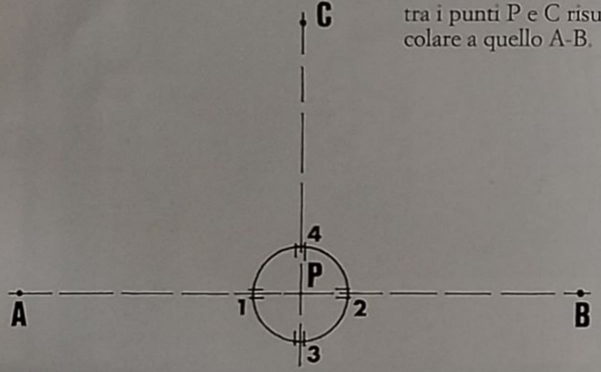
a

Fig. 14a,b. a) Tipi diversi di squadri agrimensori semplici e graduati; b) determinazione di un allineamento PC, perpendicolare a uno dato AB, mediante l'uso di uno squadro agrimensorio posto nel punto P, comune ai due allineamenti; si dispone l'allineamento del traguardo principale in modo tale che, dal punto 1 si collimi il punto B e dal punto 2 il punto A; successivamente, traguardando con il secondo piano 3-4, si posiziona una palina nel punto C, all'estremità dell'allineamento che si vuole tracciare: l'allineamento tra i punti P e C risulta perpendicolare a quello A-B.

grafico, passante per il punto in cui si fa stazione, formano il cosiddetto angolo di *declinazione magnetica*, che deve essere tenuto presente nelle misurazioni. Le bussole attuali, che hanno anche piccole bolle toriche e sferiche per un miglior posizionamento, sono dotate di clinometro (per la misura degli angoli verticali) e di regolazione automatica della declinazione magnetica. La bussola può essere impiegata per orientare una carta, per determinare il nord ecc.

Strumenti allineatori. Durante le operazioni di rilevamento, si rendono spesso necessari la creazione o il controllo di allineamenti. Per queste operazioni si adoprano *paline* di legno o di metallo leggero, a sezione ottagonale, circolare ecc., di lunghezza variabile e dipinte a tratti alterni bianchi e rossi, per aumentarne la visibilità (fig. 12). La palina può essere munita, alla sommità, di una tavoletta scorrevole, divisa in quattro parti e colorata anch'essa in bianco e rosso, denominata *scopo*, per essere vista con più precisione da grande distanza (fig. 13a,b).

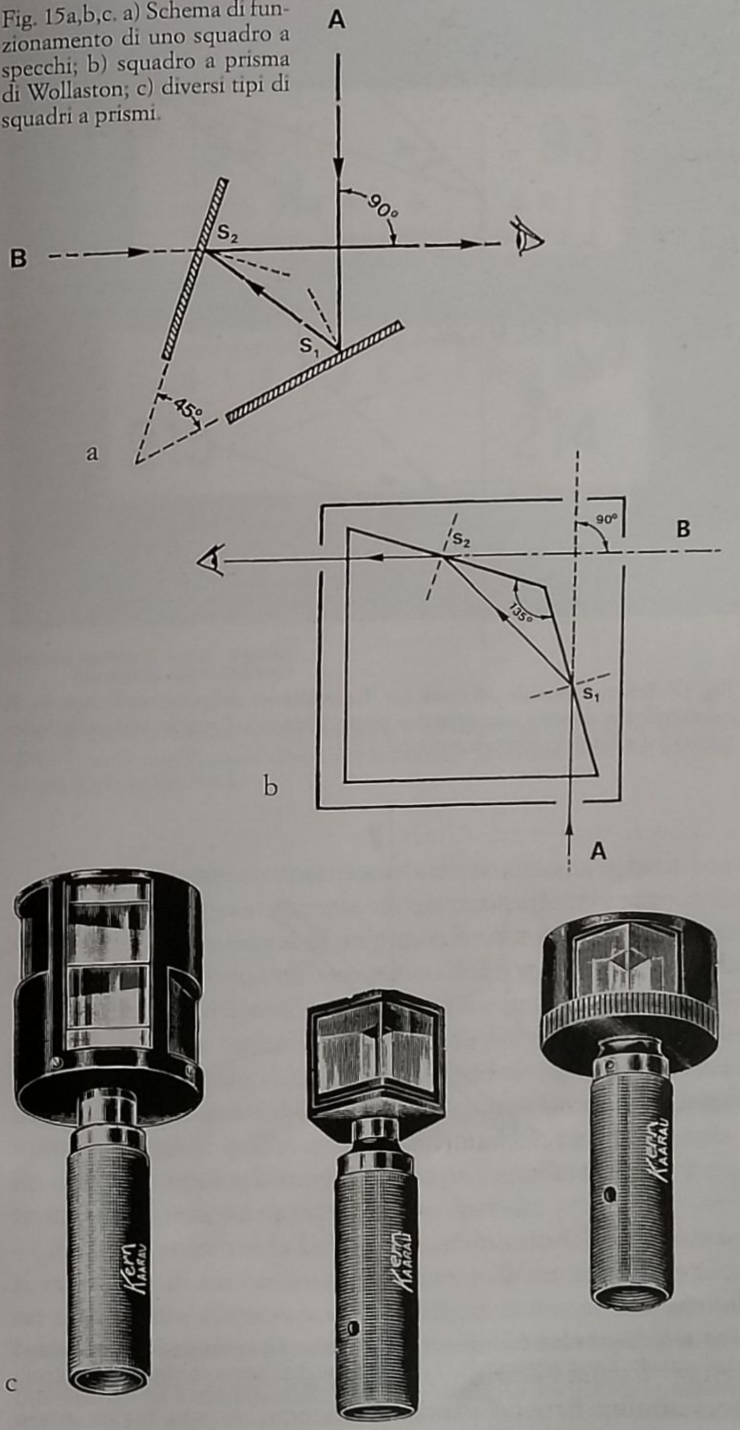
Squadro a traguardi o *squadro agrimensorio*. Tale strumento è costituito da una scatola metallica cilindrica o ottagonale, del diametro di 6-12 cm, sulla cui superficie sono ricavate delle fenditure, in modo da definire due piani di traguardo perpendicolari tra di loro (fig. 14a,b). Molti squadri sono dotati di altre due coppie di fenditure più piccole, disposte a 45° rispetto alle più grandi. Utilizzando le fenditure maggiori, è possibile tracciare allineamenti ortogonali, mentre con quelle secondarie si individuano allineamenti a 45° rispetto ai primi. Esistono in commercio anche *squadri sferici*, particolarmente utili per operare su zone accidentate o con pendenze. Allorquando la parte superiore dello strumento, dotata di fenditure, può ruotare rispetto alla parte inferiore, si ha uno *squadro graduato*, strumento che permette di misurare gli angoli tra due allineamenti oppure di tracciare allineamenti con angoli diversi da quello retto o a 45°. Nello squadro graduato, una delle due parti dello strumento contiene la graduazione, l'altra un indice; facendo ruotare la parte superiore fino a portare l'apertura dello squadro a collimare con il punto desiderato, si può effettuare la lettura del valore angolare.



b

Per determinare, invece, l'angolo formato da due allineamenti, si fa stazione con lo strumento nel punto di intersezione di essi; quindi si fa collimare lo squadro con un punto del primo allineamento e si effettua una prima lettura; poi si fa collimare con un punto del secondo allineamento e si compie la seconda lettura: la differenza tra le due letture fornisce il valore angolare cercato. Questo strumento, che non è molto preciso su lunghe distanze, per la sua

Fig. 15a,b,c. a) Schema di funzionamento di uno squadro a specchi; b) squadro a prisma di Wollaston; c) diversi tipi di squadri a prismi.



semplicità può essere utilizzato anche da operatori non molto esperti.

Tutti gli squadri sono dotati di un treppiede, che consente di posizionare lo strumento verticalmente, all'altezza dell'occhio dell'operatore. Il treppiede è munito, al centro, di un filo a piombo, mediante il quale è possibile far coincidere il centro dello squadro con il punto del terreno sul quale si vuol fare stazione.

Squadri a specchi o *prismi allineatori.* Strumenti che basano il loro funzionamento sulla riflessione del raggio luminoso su una coppia di prismi disposti a croce (fig. 15a,b,c). Per tracciare un allineamento tra due punti A e B, l'operatore si dispone in un punto intermedio e, tenendo in posizione verticale lo strumento, si sposta finché non appare sui due prismi l'immagine delle due paline (poste in A e in B) perfettamente allineate. Nel punto dell'allineamento A-B così individuato, è possibile disporre una palina: ripetendo più volte l'operazine, si completa l'allineamento. Con operazioni analoghe, è possibile tracciare allineamenti ortogonali ad uno precedente. Gli squadri a prisma sono particolarmente maneggevoli e più precisi di un comune squadro agrimensorio.

Gli strumenti per il rilievo indiretto

Appartengono a questo gruppo tutti gli strumenti topografici che consentono di rilevare distanze e angoli mediante apparecchiature con le quali, grazie a particolari accorgimenti, si possono realizzare letture a distanza.

Goniometri. Gli strumenti topografici atti a misurare gli angoli prendono il nome di *goniometri*.

Appartengono a questa categoria i *teodoliti*, i *tacheometri*, le *stazioni totali* (fig. 16), gli *eclimetri*, la *tavoletta pretoriana*, ecc. I più utilizzati sono il *teodolite* e il *tacheometro*, che differiscono solo per alcuni particolari e per una minor precisione del secondo rispetto al primo; in questi ultimi anni grazie all'avvento dell'informatica, sono diventate di uso comune le stazioni totali, che riuniscono in sé le funzioni di un teodolite e di un distanziometro elettronico.

Fig. 16. Stazione totale Leica Geosystems, mod. TPS 400.

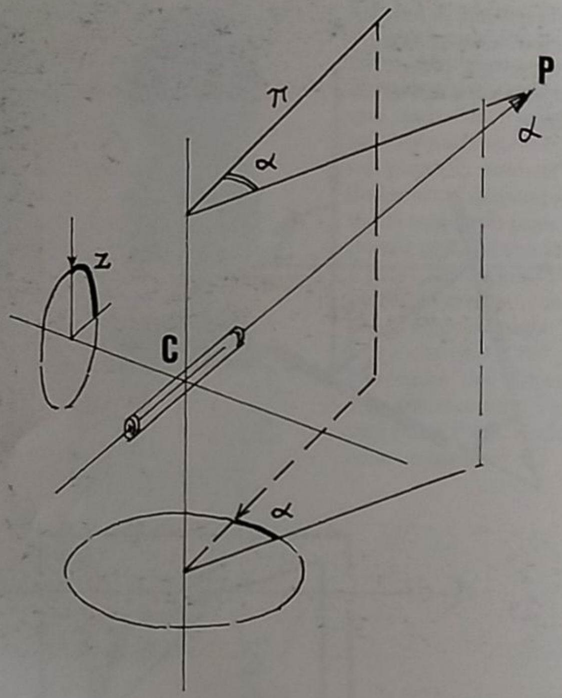


Fig. 17. Schema spaziale del teodolite. La posizione del punto nello spazio, P, è determinata, rispetto a un generico piano, rilevando l'angolo azimutale (orizzontale) α e l'angolo zenitale (verticale) z.

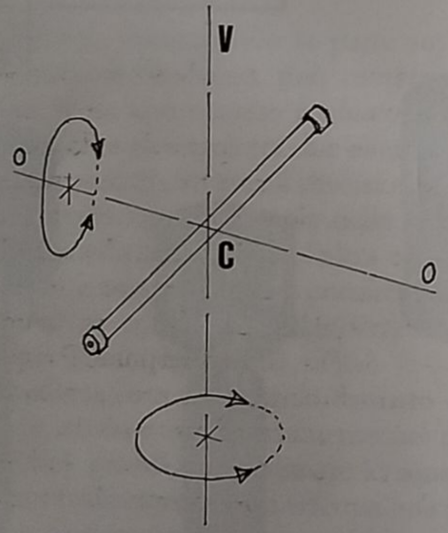
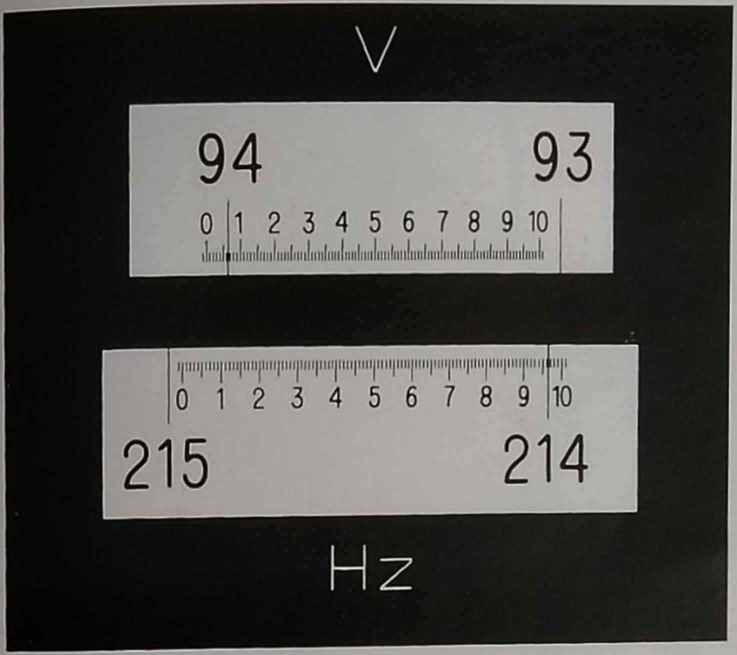


Fig. 18. Schema spaziale degli assi del teodolite. L'asse verticale di rotazione V dell'alidada, l'asse orizzontale O di rotazione del cannocchiale e l'asse di collimazione si incontrano nel punto virtuale C, che costituisce il centro dello strumento.



Lettura cerchio V 400g: 94.063g
cerchio Hz 400g: 214.962g

Fig. 19. Lettura dei due cerchi, verticale V ed orizzontale Hz, in un teodolite Wild T 16. Si noti l'uso del nonio per apprezzare la misura tra le due successive graduazioni dei cerchi.

Questi strumenti consentono la determinazione, nello spazio, di una direzione uscente da un punto detto *centro dello strumento*. La posizione di un punto P nello spazio è determinata dalla direzione dell'asse ottico dello strumento quando collima il punto in questione; la posizione nello spazio della direzione dell'asse ottico è definita dalla lettura di due angoli: l'angolo orizzontale, detto angolo *azimutale* (α) e l'angolo verticale, detto *zenitale* (z) (fig. 17). L'angolo orizzontale α determina la direzione dell'asse ottico del punto P rispetto a un piano di riferimento arbitrario p, mentre l'angolo zenitale z determina la direzione rispetto all'asse zenitale.

Onde consentire la lettura di questi valori, lo strumento si compone di un basamento sorretto da un cavalletto e di un sovrastante elemento, detto *alidada*, ruotante, rispetto al basamento, intorno a un asse verticale. L'alidada è costituita da una base e da due bracci verticali sui quali è imperniato, su un asse orizzontale, il cannocchiale di collimazione (fig. 18). Ne consegue che il cannocchiale può assumere tutte le direzioni nello spazio, dal momento che può ruotare sia intorno all'asse orizzontale, sorretto dai bracci dell'alidada, sia intorno all'asse verticale, solidalmente con l'alidada. L'ideale intersezione fra i tre assi, quello di collimazione, quello verticale e quello orizzontale, determina il punto C, detto *centro dello strumento*. È quindi da tale centro, assunto come origine della terna cartesiana, che si determinano le coordinate dei punti nello spazio, da misurare. Per la lettura dei valori angolari, lo strumento è dotato di due cerchi di misura graduati: uno, disposto orizzontalmente, per la misura degli angoli azimutali, e uno, verticale, per la lettura degli angoli zenitali. La graduazione dei cerchi è generalmente centesimale e la loro lettura avviene per tra-

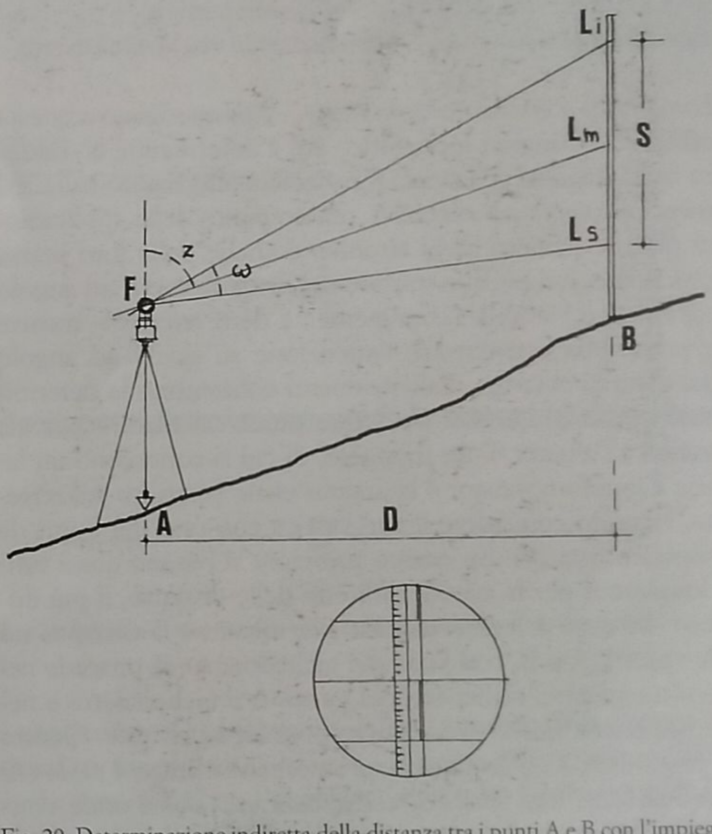


Fig. 20. Determinazione indiretta della distanza tra i punti A e B con l'impiego di un distanziometro ottico. La distanza tra i punti A e B viene determinata attraverso la lettura effettuata sulla stadia, disposta in uno dei due punti, e per successiva elaborazione analitica dei dati rilevati.

sparenza, con l'aiuto di un nonio e di un micrometro (fig. 19). Negli strumenti elettronici, il valore angolare compare direttamente su display e pertanto l'operatore non deve più effettuare la lettura attraverso il nonio.

Per consentire la «messa in stazione» dello strumento, il suo basamento è munito di tre viti calanti, con l'ausilio delle quali è possibile, attraverso il controllo delle livelle (prima con quella sferica e poi con quella torica), disporre in modo perfettamente verticale l'asse *v* dello strumento. Una volta posto in stazione lo strumento, collimando il punto da rilevare, si determina la sua posizione nello spazio, attraverso la lettura di due valori angolari; qualora si voglia determinare, per via indiretta, la distanza del punto dal centro dello strumento, si dovrà anche effettuare la lettura sulla stadia, in corrispondenza dei due fili orizzontali del reticolo distanziometrico.

La complessità del tacheometro o del teodolite è tale da richiedere, per il loro uso, la presenza di un operatore esperto.

Longimetri a misurazione indiretta. Appartengono a questa categoria strumenti topografici, atti a determinare la distanza fra due punti attraverso il procedimento basato sulla lettura *dell'angolo parallattico*[1]. Tenuto conto delle applicazioni nel rilevamento architettonico e anche della loro scarsa precisione, è superfluo trattare dei distanziometri ad angolo parallattico variabile, comunemente detti *telemetri*, mentre è preferibile concentrare l'attenzione su quelli ad angolo parallattico costante. Tali strumenti consentono la determinazione della distanza fra i due punti calcolando per via analitica l'altezza di un triangolo, di cui si conoscono un lato e l'angolo opposto; il triangolo viene costruito sul terreno, facendo coincidere il suo vertice con uno dei punti da misurare (fig. 20). Su questo principio si basano quasi tutti i longimetri per la misura indiretta delle distanze, il più diffuso dei quali è il *tacheometro*. Per misurare la distanza tra due punti, A e B, con l'uso del tacheometro, si procede nel modo seguente: si dispone nel punto A il tacheometro e nel punto B una *stadia*, sistemata in posizione verticale. Questa è costituita da un'asta graduata smontabile lunga 4 m, la cui graduazione, ben visibile, è disposta capovolta onde consentire la lettura attraverso il cannocchiale del tacheometro (fig. 21) che, munito di un reticolo, consente di effettuare sulla stadia tre distinte letture: una mediana, una superiore

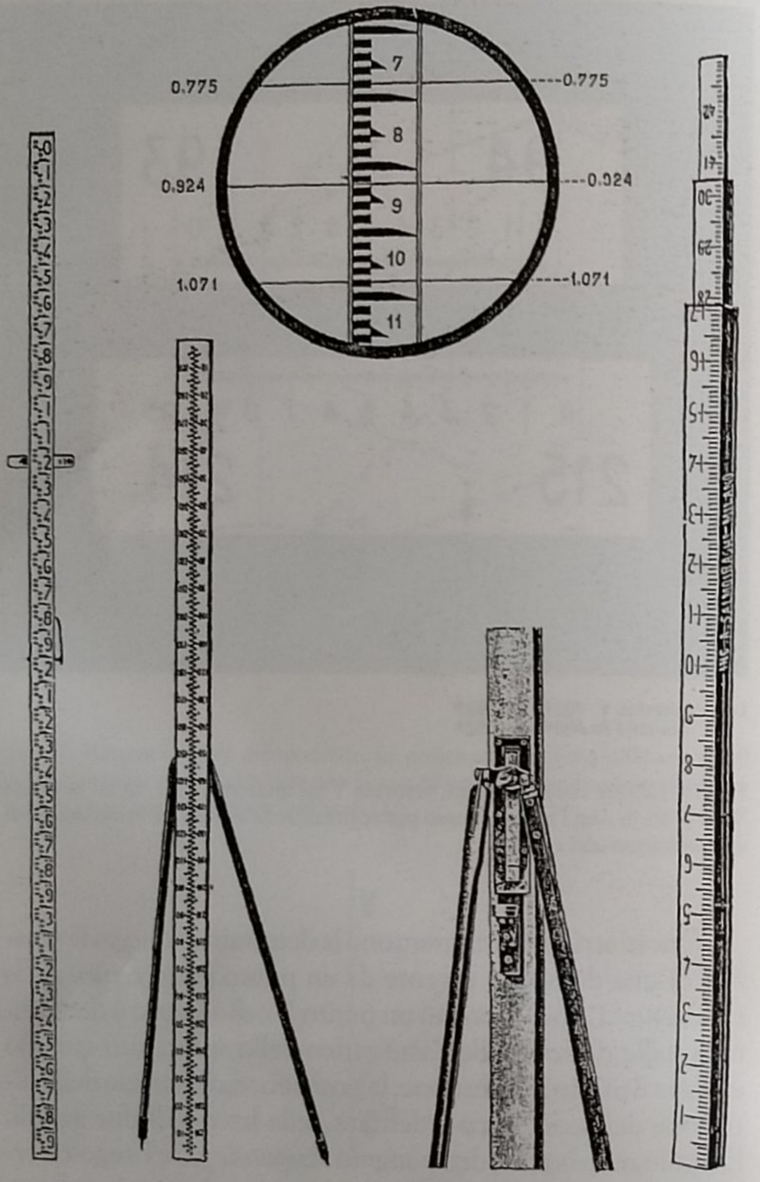
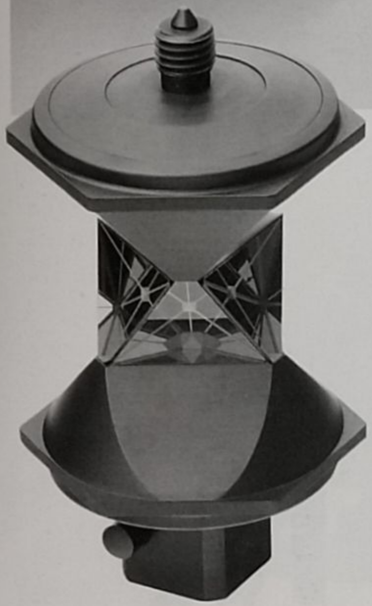


Fig. 21. Vari tipi di stadie verticali ed esempio di lettura per ricavare la distanza.

e una inferiore. I due fili orizzontali, che permettono la lettura inferiore e superiore, sono distanziati tra loro in modo da determinare, con il centro ottico dello strumento, un angolo ω prestabilito (fig. 20). Per poter determinare la distanza D tra i punti A e B, si devono effettuare con il tacheometro le seguenti operazioni: 1) lettura dell'angolo ze-



Figg. 22, 23. Vari tipi di prismi riflettori.

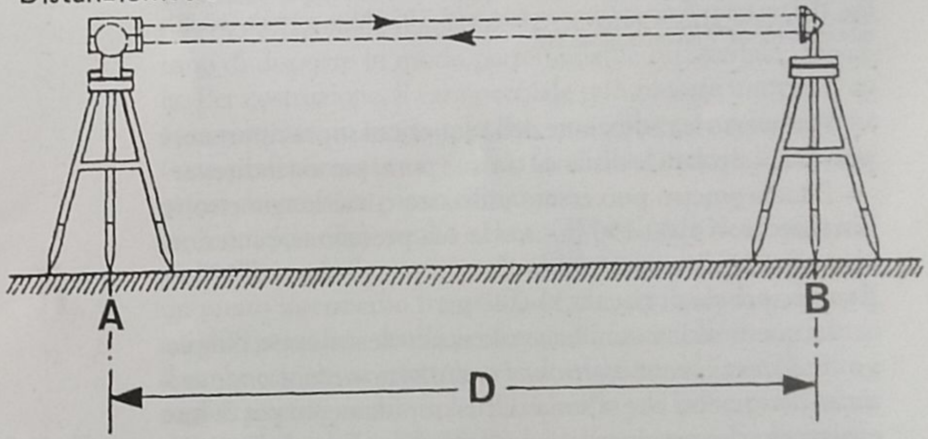


Fig. 24. Schema di misurazione ottenuta con distanziometro elettronico.

nitale z sul cerchio verticale; 2) lettura delle due misure inferiore e superiore sulla stadia. La distanza tra i due punti, A e B, è data dalla seguente formula, detta *equazione della stadia*:

$$D = K \cdot S \cdot \text{sen}^2\, z,$$

in cui S è la differenza fra le due letture effettuate sulla stadia, z è l'angolo zenitale dell'asse ottico del tacheometro e K è una costante, caratteristica dello strumento, il cui valore è, di solito, uguale a 100. Qualora al posto dell'angolo zenitale z, sia stato misurato l'angolo di altezza α, l'equazione della stadia assume la seguente forma:

$$D = K \cdot S \cos^2 \alpha$$

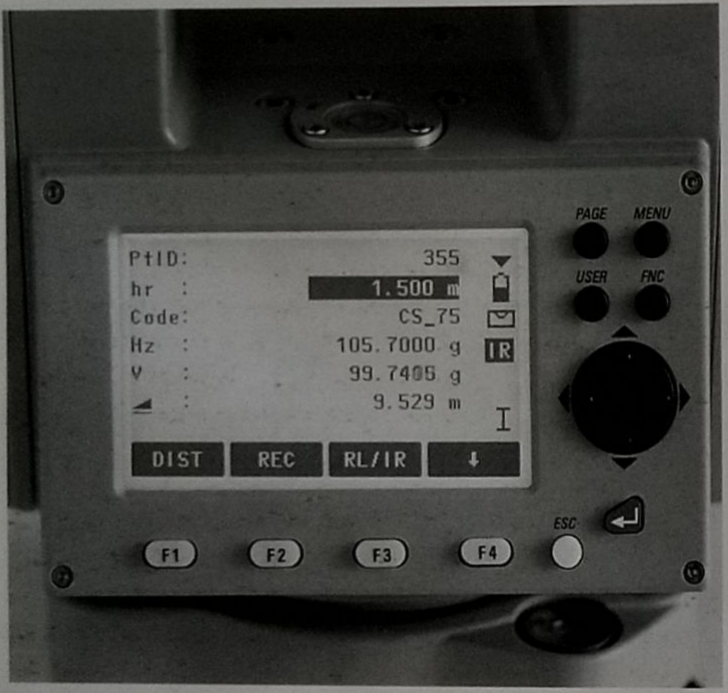


Fig. 25. Dettaglio schermo stazione totale, mod. TPS 400, in cui sono visibili la misura verticale V ed orizzontale Hz.

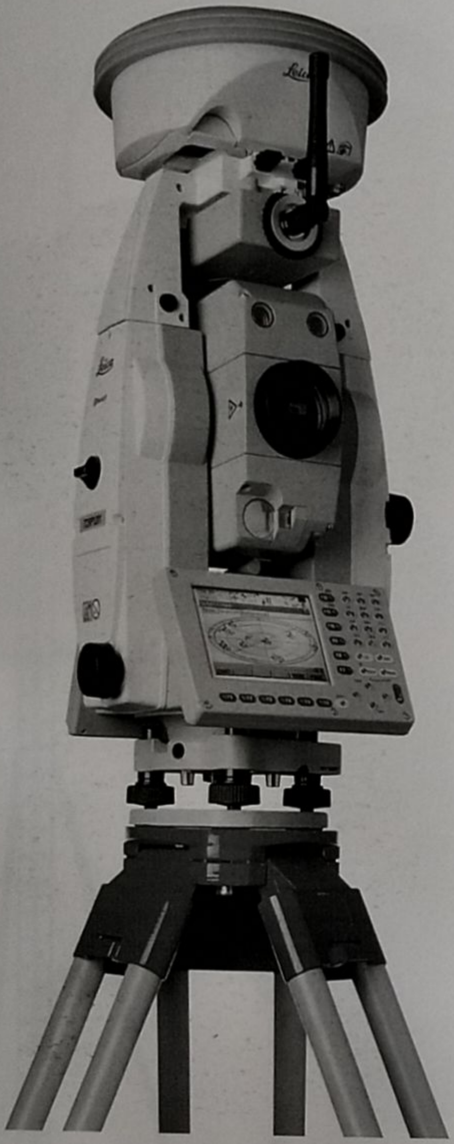


Fig. 26. Stazione totale Leica Geosystems, mod. TCRP 1201.

Attraverso la risoluzione delle equazioni sopra riportate, è possibile calcolare la distanza tra due punti per via indiretta.

Il tacheometro può essere utilizzato come longimetro su distanze brevi (100-150 m), ma la sua precisione è inferiore ai longimetri diretti: si calcola che, per una distanza di 100 m, il suo errore sia di circa 0,30-0,40 m.

In questi ultimi anni ha avuto notevole sviluppo l'impiego di *distanziometri elettronici* o *distanziometri a onde modulate*, strumenti che si sono diffusi rapidamente per la loro elevata precisione e per la semplicità d'impiego. I distanziometri elettronici sono generalmente composti da un apparato trasmittente e ricevente che, dopo aver generato un segnale a onda modulata, lo invia verso il punto da rilevare; qui è situato un apposito prisma riflettente (figg. 22, 23) che rinvia il segnale alla stazione, dove viene ricevuto da una fotocellula e da un rilevatore di fase (fig. 24). L'apparato ricevente, captando il segnale riflesso, è in grado di misurarne lo *sfasamento* (o *ritardo di fase*), attraverso il quale può calcolare la distanza percorsa in andata e ritorno. Essendo munito di un display (fig. 25), il distanziometro fornisce direttamente l'indicazione della distanza; in molti casi il distanziometro può essere montato su un normale teodolite elettronico (fig. 26), mentre negli strumenti di più recente costruzione esso è incorporato coassialmente al cannocchiale del teodolite (fig. 27).

I recenti sviluppi dell'elettronica applicata al settore topografico hanno determinato la nascita delle cosiddette *sta-*

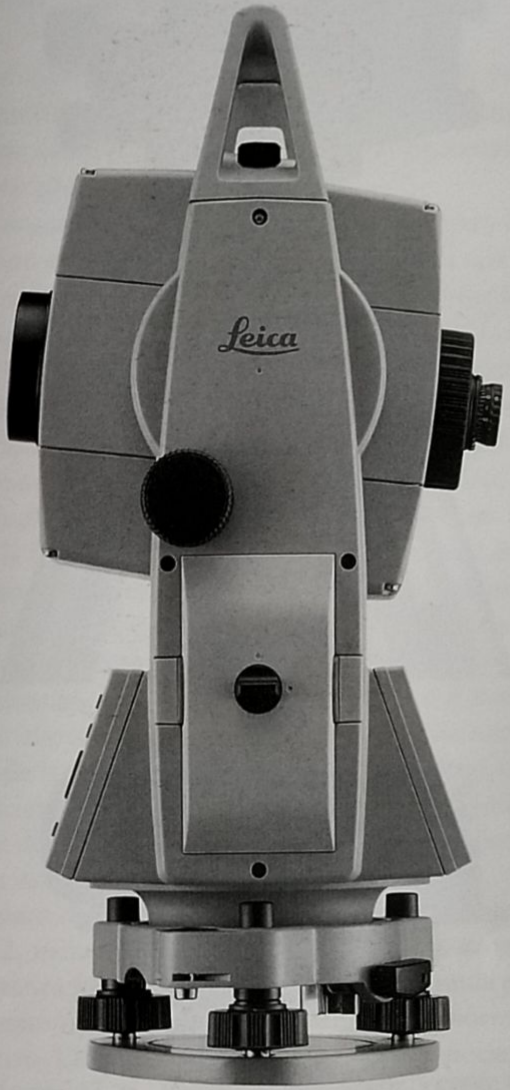


Fig. 27. Stazione totale Leica Geosystems, mod. TPS 400.

zioni totali automatiche, che derivano dalla combinazione di un teodolite e di un distanziometro elettronico, integrati grazie alle loro parti elettroniche, in grado di effettuare una prima elaborazione dei dati, fornendo angoli e distanza di un punto già compensati ed esenti da errori strumentali; questi dati, grazie ad una interfaccia possono essere collegati direttamente ad un computer portatile, possono essere immagazzinati direttamente sul computer, evitando gli errori di trascrizione. Alcune di queste stazioni totali, grazie a una *livella elettronica* – costituita da un compensatore biassiale, che generalizza nello spazio il funzionamento di un indice zenitale automatico – sono in grado di effettuare il posizionamento «messa in stazione» automatico. Generalmente queste stazioni totali sono dotate di un distanziometro laser che può rilevare, per distanze fino a un centinaio di metri, la distanza di un punto senza dovere ricorrere al posizionamento di un riflettore, con notevole vantaggio soprattutto per i punti inaccessibili, agevolando anche la velocità di acquisizione dei dati.

Livelli a cannocchiale. Gli strumenti topografici per la misura dei dislivelli prendono il nome di *livelli a cannocchiale*, normalmente impiegati anche nel rilevamento architettonico. Tali strumenti sono costituiti, appunto, da un cannocchiale fornito di una livella torica e sostenuto da un basamento, in cui tre viti calanti permettono la perfetta «messa in stazione» (figg. 28, 29, 30). L'asse ottico del cannocchiale viene reso orizzontale regolando le tre viti calanti, che consentono di disporre in modo perfettamente orizzontale la livella. Per costruzione, il cannocchiale può ruotare intorno a un asse verticale, in modo tale che, una volta posto in stazione (asse perfettamente verticale), facendolo ruotare il suo asse ottico descriva un piano orizzontale.

Come si vedrà meglio nel cap. IV, volendo determinare il dislivello tra due punti si colloca lo strumento in stazione in un punto intermedio fra quelli da rilevare; quindi si dispone sui due punti una stadia perfettamente verticale e, attraverso il cannocchiale, si effettuano le due letture; se l'asse di mira è perfettamente orizzontale, il dislivello tra i due punti viene determinato dalla differenza delle due letture. Se l'impiego del livello a cannocchiale avviene entro distanze brevi (al massimo 100 m), la sua precisione è rilevante al punto da poter essere contenuta entro ± 1 mm.

Alcuni livelli sono muniti anche di un cerchio orizzontale per la misura degli angoli azimutali. Sono disponibili in commercio livelli automatici muniti di un compensatore pendolare, che consente la «messa in stazione» dello strumento dopo il suo posizionamento con una normale bolla sferica (fig. 31).

Figg. 28, 29, 30. Vari tipi di livelli a cannocchiale.

Fig. 31. Livello a cannocchiale Leica Geosystems, mod. SPRINTER von Hinten 150M.

Gli strumenti fotogrammetrici

Camere per ripresa fotogrammetrica. Le camere per riprese fotogrammetriche terrestri possono essere raggruppate in due distinte categorie: 1) monocamere; 2) bicamere o camere stereofotogrammetriche.

La *monocamera* è uno strumento per la ripresa fotografica, costituito da una *camera metrica*, a sua volta composta da un corpo macchina montato su un supporto girevole – sul tipo dell'alidada di un tacheometro – e sostenuto da un cavalletto (fig. 32). Concettualmente, non differisce da una comune macchina fotografica, se non per alcune caratteristiche costruttive dell'obiettivo, che deve essere esente da distorsioni e avere l'asse ottico perfettamente perpendicolare al piano della pellicola e in posizione nota rispetto al centro del fotogramma. Il fuoco dell'obiettivo di queste camere è generalmente fisso o comunque, se è variabile, è di lunghezza nota, in modo tale che di esso si conosca sempre la distanza principale. In alcune camere a fuoco fisso, questo può essere variato, inserendo degli anelli tra l'obiettivo e il corpo della macchina: ciascun anello varia di una quantità nota la lunghezza della focale. Le case costruttrici forniscono, con la camera metrica, un certificato di taratura che dichiara l'esatta lunghezza della focale, calcolata in mm, con due decimali, in modo che essa sia nota al centesimo di millimetro.

Il formato della lastra o della pellicola è, generalmente, di cm 9 x 12, mentre gli obiettivi possono avere gruppi ottici con la distanza focale di 45-100-200 mm, a seconda che si voglia utilizzare un grandangolare, un obiettivo normale o un teleobiettivo. Esistono in commercio anche monocamere con formato lastra 13 x 18 e con focali 64-100-200-300 mm. Quando vengono usate delle pellicole, la camera è munita di un sistema di spianamento delle medesime, per assicurare la loro perfetta planarità; in alcune macchine il sistema di spianamento avviene con la tecnica del vuoto d'aria.

Come si è già detto, la monocamera è montata su un basamento, analogamente a quanto avviene per il cannocchiale del teodolite, cosicché è possibile mettere in stazione (rendendo verticale il piano della pellicola) la camera metrica con procedure del tutto analoghe a quelle adoperate per gli altri strumenti topografici. Mentre la rotazione della camera intorno all'asse verticale è completa, il suo asse ottico, nelle due posizioni standard, orizzontale o verticale, può essere inclinato secondo valori indicati da un cerchio zenitale; in alcune camere i valori di inclinazione sono prestabiliti (di solito ± 7°, ± 15°, ± 25°, ± 50°).

Fig. 32. Camera (P31) da presa universale terrestre della Wild, utilizzabile soprattutto per riprese fotogrammetriche d'architettura.

La monocamera ha un impiego più versatile rispetto alla bicamera, in quanto la possibilità di variare la base di ripresa con l'impiego di due cavalletti permette di effettuare riprese sia a breve che a media e grande distanza. Essa presenta, tuttavia, lo svantaggio di dover essere messa in stazione un numero doppio di volte, rispetto alla bicamera, con conseguente aumento delle operazioni topografiche per determinare la posizione delle basi di ripresa. Va anche ricordato che i due fotogrammi che costituiscono un modello realizzato con una

monocamera, essendo eseguiti a un certo intervallo di tempo l'uno dall'altro, potrebbero subire una variazione di luminosità, che, se troppo accentuata, agirebbe negativamente nel momento della restituzione.

Le *camere stereofotogrammetriche*, dette anche *bicamere*, sono strumenti fotografici muniti di due camere da ripresa, disposte agli estremi di una base fissa. Con esse, è possibile la ripresa simultanea dei due fotogrammi stereoscopici che costituiscono il modello, con conseguenti vantaggi economici rispetto alla monocamera. Tuttavia, la base fissa, quasi sempre di m 1,20 (in casi eccezionali m 2), non consente riprese del soggetto a distanze superiori ai m 12, per le prime, e m 20 per le seconde.

La bicamera è costituita da un cavalletto che sostiene un'asta verticale, sulla quale è imperniata la base orizzontale, alle cui estremità si trovano collocate le due camere metriche (fig. 33). Tale base può ruotare intorno all'asse verticale per 360° ed anche attorno al suo asse orizzontale. Pertanto, una volta che lo strumento sia stato messo in stazione e sia stato reso verticale il suo asse, è possibile far assumere alla coppia di camere la posizione più idonea per la ripresa. In particolare, l'asse ottico delle due camere può essere disposto sia orizzontalmente che verticalmente oppure in posizioni intermedie, come si è già visto nel caso della monocamera. Per un accorgimento di costruzione, l'asse ottico delle due camere può essere disposto ortogonalmente alla base ed è anche assicurato il perfetto parallelismo dei due assi ottici. Questa condizione faceva sì che le bicamere fossero particolarmente adatte per la restituzione analogica; infatti, le condizioni sopra citate rendevano molto più facile l'orientamento relativo dei due fotogrammi nel momento della restituzione. Oggi, con l'avvento dei restitutori analitici, queste peculiarità non hanno più rilevanza ai fini della restituzione e ciò ha ridotto di molto l'uso delle bicamere rispetto alle monocamere.

Le caratteristiche tecniche delle bicamere non differiscono molto da quelle già descritte per la monocamera. Alcune case costruttrici adottano, per le bicamere, lastre più piccole (cm 6 x 9), tenuto anche conto del fatto che questi strumenti vengono impiegati per riprese più ravvicinate.

L'impiego delle bicamere e delle monocamere non richiede una particolare specializzazione, se non per determinare la posizione dei punti di stazione per la ripresa mediante una rete topografica di appoggio.

Fig. 33. Camera stereofotogrammetrica (bicamera) Wild, mod. C 120; formato lastra cm 6 x 9; la base di ripresa è di m 1,2.

Restitutori fotogrammetrici. Per la descrizione dei restitutori fotogrammetrici, si rimanda al cap. V, ove vengono illustrati i metodi di restituzione analogica e analitica.

Note

[1] Per angolo parallattico si intende l'angolo visivo che si determina quando si osserva un punto da due distinte posizioni. Negli strumenti ad angolo parallattico costante, esso è determinato, per costruzione dello strumento, mediante il posizionamento di due reticoli orizzontali.

Capitolo quarto

I fondamenti teorici del rilevamento

Aspetti teorici del rilevamento planimetrico

Ogni tipo di rilevamento è finalizzato a rappresentare, su un supporto bidimensionale (disegno), le informazioni relative a un'opera architettonica, a una porzione di città o di territorio. Tenendo conto che i rilevamenti a grandissima scala vengono rappresentati utilizzando particolari forme di proiezione cartografica, che debbono tener presente la forma terrestre, va precisato che tutti gli altri tipi di rilevamento si servono, invece, per la loro rappresentazione, dei metodi della geometria descrittiva, ovvero proiettano le superfici da rappresentare su un piano orizzontale (piante e planimetrie) e su un piano verticale (prospetti e sezioni). Da ciò deriva che anche le operazioni di prelievo delle misure devono essere condotte orizzontalmente, per le rappresentazioni planimetriche, e verticalmente per le operazioni altimetriche; così pure le operazioni sul campo, dunque, vanno scisse, almeno concettualmente, tra rilevamenti planimetrici e rilevamenti altimetrici.

Occorre ricordare, inoltre, che le metodologie inerenti le operazioni di misurazione vanno correlate alle possibilità pratiche di trasferire, con operazioni grafiche dirette o mediante un calcolo matematico, i dati raccolti sul disegno.

Poiché il rilievo, anche di un singolo edificio, non può trascurare le relazioni che esistono tra questo, gli altri edifici e il territorio circostante, occorre poi, che ciascun elemento da rilevare sia messo in relazione con il suo intorno (georeferenziazione). A questo fine è necessario inquadrare tutto il territorio in una rete geometrica generale, alla quale sarà possibile collegare il rilievo di dettaglio delle singole zone. Ricordando che il triangolo è l'unica delle figure geometriche elementari ad essere indeformabile[1] e, pertanto, facilmente rappresentabile sul foglio da disegno, risulta agevole suddividere ciò che va rilevato, per mezzo di un'opportuna «rete di triangolazione», che inquadri rigidamente tutta l'opera oggetto del rilevamento.

A grande scala, la triangolazione deve anche tener conto della curvatura terrestre, cosicché i lati di questo tipo di maglia sono *archi di geodetica*. Per quanto riguarda poi il complesso problema relativo alle «reti geodetiche», al loro tracciamento e al loro calcolo, si rimanda il lettore ai trattati di topografia e geodesia[2], ove tali argomenti sono sviluppati analiticamente. Ai fini del presente studio, basti ricordare che la *rete geodetica nazionale* del primo ordine si struttura in una maglia di triangoli con lati variabili tra 20 e 60 km, come si può osservare nella fig. 1.

Le reti geodetiche, collegando punti molto distanti tra loro, non consentono, però, di fornire una sufficiente informazione su quelli intermedi; occorre, quindi, integrarle con una *rete trigonometrica*, articolata su triangoli più piccoli, la quale a sua volta, per poter scendere in dettaglio, si articola in quattro reti, integrate tra loro e definite rispettivamente: reti del primo, secondo, terzo e quarto ordine. Come si può osservare nella fig. 2, i punti della rete di secondo ordine sono posizionati all'interno dei triangoli della rete di primo ordine, in modo da suddividere il territorio in triangoli con lati sempre più piccoli.

A livello nazionale, la rete di triangolazione del primo ordine coincide con la rete geodetica, la rete trigonometrica del secondo ordine si compone di triangoli con lati compresi tra 15 e 30 km, la rete del terzo ordine, di triangoli con lati variabili tra 10 e 20 km, mentre la rete del quarto ordine ha la-

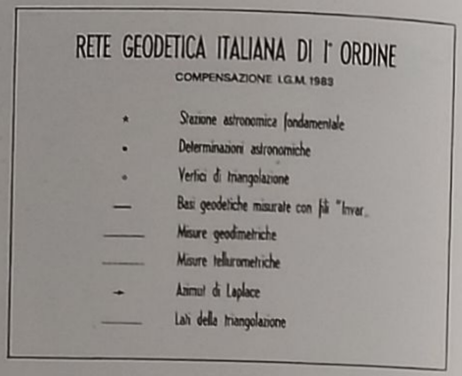


Fig. 1. Mappa esemplificante la rete geodetica italiana di primo ordine.

ti compresi tra 3 e 10 km; ciascuno dei vertici dei triangoli è contrassegnato, sul territorio, con un apposito segnale fisso, contraddistinto da un elemento metallico inserito in una solida base. Esiste, inoltre, un'apposita monografia, che illustra il posizionamento di ciascuno dei vertici, di cui sono note le coordinate. Generalmente, il posizionamento dei vertici della rete trigonometrica nazionale viene fatto coincidere con punti specifici del territorio, quali, ad esempio, la cuspide di un campanile, la sommità di una torre o di una casa. La rete nazionale è stata realizzata ed è gestita dall'Istituto Geografico Militare.

L'Ufficio tecnico erariale (Catasto), per redigere le proprie carte, si è appoggiato alla rete nazionale dei primi tre ordini e ha realizzato una propria *rete catastale* parziale, composta di triangoli i cui lati variano tra 7 e 10 km, dalla quale ha tratto delle *sottoreti catastali*, basate su triangoli con lati compresi tra 3 e 5 km. Le reti catastali sono collegate alle reti trigonometriche dell'IGM secondo gli schemi illustrati nelle figg. 3, 4. Analogamente a quanto si è detto per i vertici della rete trigonometrica, anche la rete catastale è individuata sul territorio da appositi segnali fissi, facilmente individuabili.

Per rappresentare nei disegni, con sufficiente chiarezza, i diversi tipi di vertici appartenenti alle varie reti, sono stati adottati i simboli riportati nella fig. 5. La rappresentazione cartografica ufficiale italiana utilizza il sistema delle coordinate cartesiane ortogonali: tutti i punti della rete trigonometrica nazionale sono definiti, infatti, attraverso le coordinate riferite a due assi cartesiani, uno dei quali coincide con la direzione del nord e l'altro con quella dell'est. Pertanto, i punti della rete nazionale sono individuati attraverso le suddette coordinate (fig. 6).

Dovendosi determinare la posizione planimetrica di un punto specifico del terreno rispetto a quelli trigonometrici della rete nazionale, si effettuerà il rilevamento partendo da uno dei punti noti. Quando non è indispensabile collegare il rilievo alla rete nazionale, è possibile effettuare il rilevamento per coordinate cartesiane, scegliendo liberamente i due assi di riferimento e la posizione dell'origine O. In questo caso, i punti da rilevare vengono determinati nella loro posizione reciproca, senza tuttavia essere collegati con l'intorno dell'opera.

Volendo, dunque, inserire il rilievo di un edificio nel più ampio contesto territoriale, è sufficiente partire dal più vicino punto della rete catastale o nazionale, per avere le sue

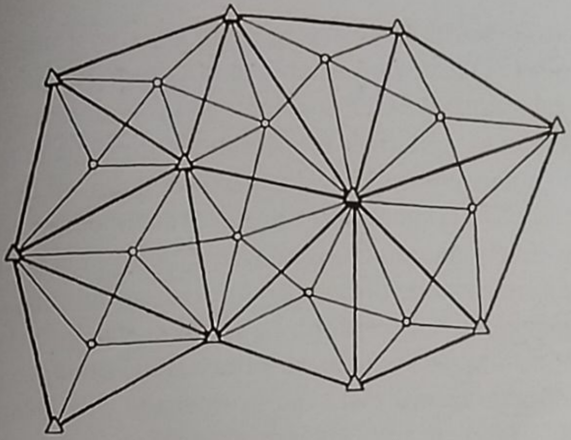


Fig. 2. Rete geodetica di primo (vertici con triangolino) e second'ordine (vertici con circoletto).

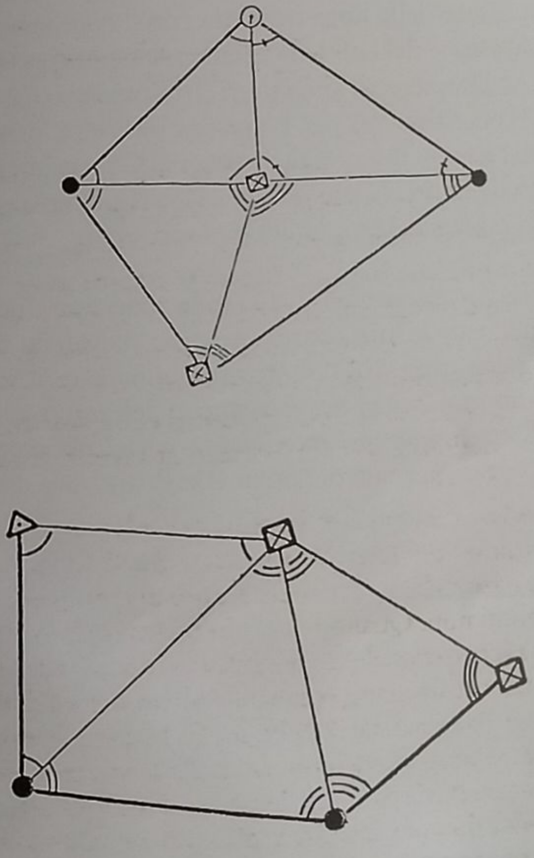


Fig. 3. Schemi di reti topografiche locali e catastali.

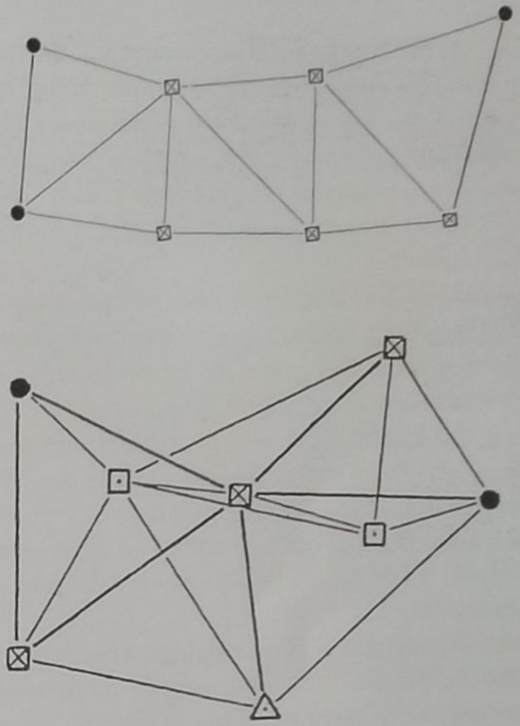


Fig. 4. Catena topografica e sottorete per rilevamenti catastali.

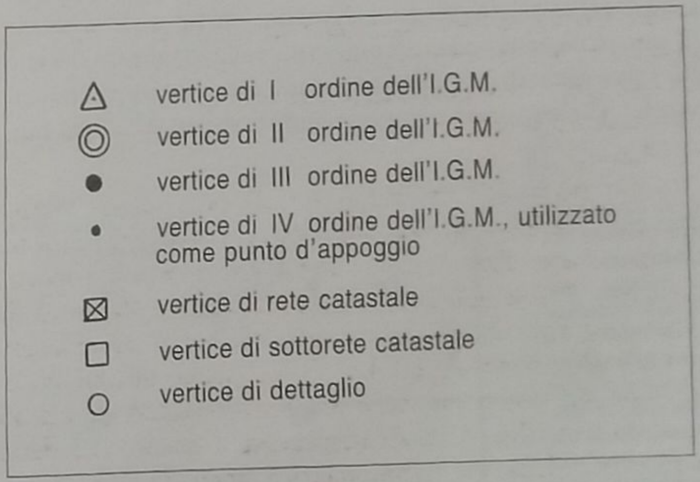


Fig. 5. Simbologia dei vertici delle reti geodetiche e di dettaglio.

coordinate, riferite appunto alla rete nazionale. Anche quando tale operazione non è richiesta, è sempre opportuno che il rilevatore imposti il proprio rilievo riferendosi a un caposaldo, anche scelto arbitrariamente, ma ben definito, in modo da poter passare successivamente, se necessario, da un riferimento relativo a quello assoluto della rete nazionale.

La trilaterazione. La definizione della posizione di un punto nello spazio è nota, quando di esso sono individuate le tre coordinate cartesiane; nel caso della rappresentazione planimetrica, tuttavia, sono sufficienti le due coordinate x ed y, mentre la terza, quella relativa all'altezza del punto, può essere omessa. Da questa osservazione si deduce che, ai fini del rilevamento planimetrico, si può operare prescindendo dalla posizione altimetrica del punto, mentre nel rilevamento altimetrico, come si vedrà (cfr. *infra*) occorre definire proprio questo parametro.

È stato già evidenziato come la struttura rigida del triangolo consenta di definirlo con la semplice misura dei suoi tre lati (trilaterazione); se, ad esempio, al fine di rilevarla, si suddivide una piazza di forma irregolare in tre triangoli, possibilmente equilateri (fig. 7), e se ne misurano i lati, la rappresentazione può essere facilmente eseguita nel seguente modo: si traccia una linea, sulla quale si stacca il segmento A'B', corrispondente, nella scala di rappresentazione prestabilita, al lato AB; con centro nel punto A', si traccia un arco di circonferenza pari alla lunghezza del lato AC; analogamente, dal punto B' si traccia un arco di circonferenza, di raggio pari alla lunghezza del lato BC: i due archi di circonferenza si intersecano nel punto cercato C'. Proseguendo e appoggiandosi al lato A'C', già rappresentato, è possibile costruire graficamente il successivo triangolo A'C'D', che rappresenta la porzione di piazza individuata dal triangolo ACD; con analogo procedimento è possibile completare, quindi, la rappresentazione della piazza.

Si può notare come il rilevamento diretto dei lati dei triangoli sul terreno e la successiva rappresentazione non consentano una precisione molto elevata, in quanto la costruzione grafica e l'intersezione dei due archi di circonferenza danno luogo a inevitabili imprecisioni. La scelta di triangoli con forma prossima a quella equilatera riduce notevolmente gli errori e permette di utilizzare questo metodo di rilevamento planimetrico tutte le volte che non sia richiesta una precisione molto elevata. Per ridurre sensibilmente gli errori nella rappresentazione grafica, è possibile utilizzare il computer, il quale, descrivendo le due circonferenze e trovandone l'intersezione analiticamente, consente di evitare l'imprecisione dovuta allo spessore della linea tracciata con il compasso.

La misurazione dei lati della trilaterazione può essere eseguita, sia con l'impiego di longimetri (triplometri o nastri metallici), sia con strumenti per la misura indiretta, quali i distanziometri a raggi laser o i tacheometri. Generalmente, tenuto conto della precisione del metodo, si preferisce utilizzare, per la misura dei lati, un longimetro.

Rilevamento per intersezione. Quando sono noti due punti (definiti mediante le loro coordinate), per rilevare le zone limitrofe ad essi, può risultare agevole impiegare il metodo detto dell'*intersezione in avanti* o anche dell'*intersezione diretta* o dell'*intersezione per coordinate bipolari*, per mezzo del quale, note le coordinate dei punti A e B (fig. 8) e misurati,

Fig. 6. Determinazione planimetrica di un punto «P» sul terreno mediante le coordinate cartesiane. La cartografia ufficiale italiana dispone l'asse delle ordinate coincidente con la direzione del nord e quello delle ascisse con la direzione est.

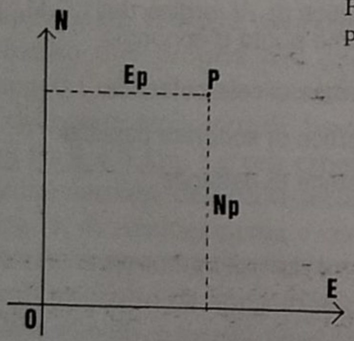
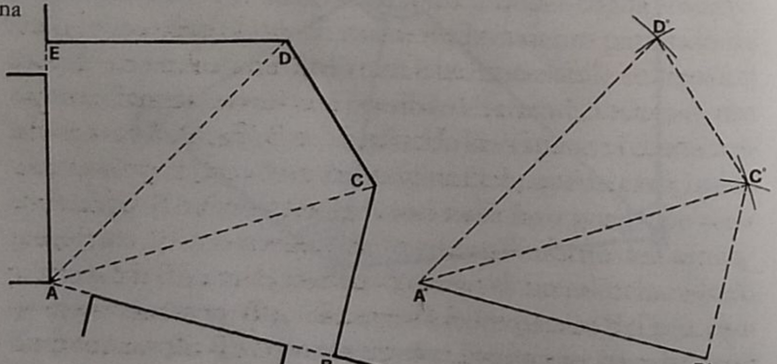


Fig. 7. Trilaterazione di una piazza di forma irregolare.



dai suddetti punti, gli angoli formati dal lato AB con le direzioni al punto P, è possibile calcolare, con le formule della topografia, le coordinate di P[3].

Il metodo testé illustrato è particolarmente utile nei casi in cui il punto P sia inaccessibile: come si è osservato, infatti, è sufficiente che esso sia visibile dai due punti A e B; offre, inoltre, indubbi vantaggi, quando si vogliano individuare dei punti di *raffittimento*[4], partendo da una rete trigonometrica o da una triangolazione di dettaglio; in questi casi, utilizzando un lato della triangolazione, è possibile individuare il punto P utilizzando dati già noti, relativi al lato AB. Va anche detto che la precisione delle misurazioni da effettuare è maggiore, quando il punto P da rilevare è situato in una posizione tale da poter essere osservato dai due punti di stazione, con angolo molto ampio; infatti, le direzioni che escono dai punti A e B devono consentire un'intersezione dei raggi visuali nei vari punti, con un angolo non troppo acuto; occorre, quindi, che il triangolo che si viene a formare tra la base individuata dai punti noti e quelli da rilevare, non abbia angoli inferiori a 30°. Solo con questa precauzione ci si può assicurare un sufficiente grado di precisione nell'ambito di questo metodo che, comunque, appunto perché basato sulla misura di valori angolari e lineari, consente di raggiungere un livello di precisione ben superiore a quello raggiungibile con il metodo delle coordinate polari.

Alcuni autori consigliano di utilizzare una base che sia tre volte maggiore della distanza da essa dei punti da rilevare. Va infine precisato che, come si comprende dall'osservazione della fig. 8, i punti da rilevare non debbono essere disposti in prossimità o in coincidenza con l'allineamento della base AB.

Nel rilevamento architettonico, l'uso di questo metodo risulta di grande utilità, sia perché può essere impiegato nel modo sopra specificato, mediante il calcolo delle coordinate, sia perché può essere applicato con una soluzione grafica molto rapida, benché di minore precisione. Infatti, quando sono note le coordinate dei punti A e B (fig. 8), è nota anche la lunghezza del segmento in questione; così, dopo aver rilevato i due angoli di direzione dagli estremi A e B, è possibile tracciare sul foglio da disegno un segmento A'B', corrispondente, nella scala di rappresentazione, al lato AB del terreno; infine, dai due estremi del segmento A'B' possono essere riportate, con un goniometro, gli angoli α e β rilevati sul campo. L'operazione appena descritta può essere eseguita con grande precisione, immettendo i dati rilevati in un computer e utilizzando un programma tipo Autocad, in grado di tracciare graficamente le due direzioni che individuano il punto P' rispetto al segmento A'B'.

In topografia vengono usati molti altri tipi di intersezioni, tra cui l'*intersezione laterale*, detta anche *intersezione mista*, che impiega le coordinate dei punti A e B ed effettua le misure angolari, rispettivamente nel punto P e in uno dei due punti A o B; ovviamente, questo tipo di intersezione viene adottata quando il punto P è accessibile.

Particolarmente importante è il metodo detto dell'*intersezione multipla in avanti* (fig. 9), che si può applicare quando siano noti tre punti, A, B e C: la determinazione del punto P si ottiene, allora, misurando gli angoli di direzione che esso forma con le basi AB e BC. Le coordinate del punto P, così determinate, vengono mediate, sempre che i valori ottenuti rientrino nel campo dell'incertezza. Ovviamente, questo metodo consente una maggiore precisione rispetto all'intersezione in avanti.

Da ricordare infine, l'*intersezione inversa o problema di Snellius*, metodo che può essere applicato, quando siano no-

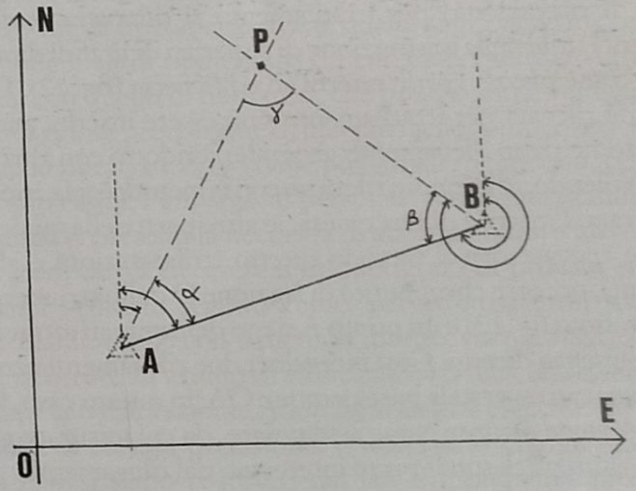


Fig. 8. Determinazione planimetrica di un punto «P» con il metodo dell'intersezione in avanti. La posizione del punto è definita attraverso la posizione di due punti noti A e B, con la misurazione degli angoli formati dagli allineamenti dei tre punti.

te le coordinate di tre punti e si misurino gli angoli α e β, sottesi dal punto P ai lati AB e BC[5] (fig. 10).

Rilevamento per coordinate polari o per irradiamento. Il *rilevamento per coordinate polari* consiste nel riferire i punti del terreno a un punto O di coordinate note, detto polo (fig. 11). La posizione sul terreno di un generico punto P è determinata dal valore dell'angolo azimutale θ_1, rispetto all'asse polare (fissato arbitrariamente o utilizzando la direzione nord), e dal raggio vettore R_1 (distanza del punto P_1 rispetto al polo O). Operativamente, occorre fare stazione con un teodolite, oppure con un tacheometro, sul polo O e rilevare i valori azimutali dei punti e le distanze di questi dallo strumento.

Il *rilevamento per irradiamento*, invece, non è altro che l'applicazione del metodo per coordinate polari – che viene di solito impiegato per rilievi di modesta estensione, in relazione alla scarsa precisione dei teodoliti e dei tacheometri – nella determinazione delle distanze per via ottica.

Impiegando suddetti strumenti, la zona da rilevare dovrebbe essere contenuta entro i 150 m dal punto di stazionamento. Tuttavia, con l'avvento dei distanziometri a raggio laser, è possibile adoperare questo metodo anche per zone molto più ampie, dal momento che la precisione non è in funzione della distanza dalla stazione del punto da rilevare.

Il rilevamento per irradiamento si dimostra particolarmente utile nella misurazione di superfici di grandi dimensioni, come piazze, cortili interni ad edifici ecc. (fig. 12). La porzione rilevata per irradiamento può essere inserita anche all'interno di un rilevamento generale, condotto con altri metodi. Volendo ad esempio rilevare, con la metodologia appena illustrata, l'interno di una chiesa, le altre parti della quale siano state rilevate con il metodo diretto (trilaterazioni e allineamenti), occorre che il punto di stazione O dello strumento topografico (fig. 12) e un punto A siano determinati attraverso il rilevamento diretto. Così facendo, i due rilevamenti vengono collegati attraverso la base comune OA; in questo caso, la retta OA viene assunta come asse polare, da cui misurare gli angoli azimutali di tutti i punti interessati dal rilevamento.

Rilevamento per poligonali. La necessità di rilevare punti specifici all'interno di una rete di triangolazione, di definire le linee di confine e di infittire punti ottenuti con trilaterazioni de-

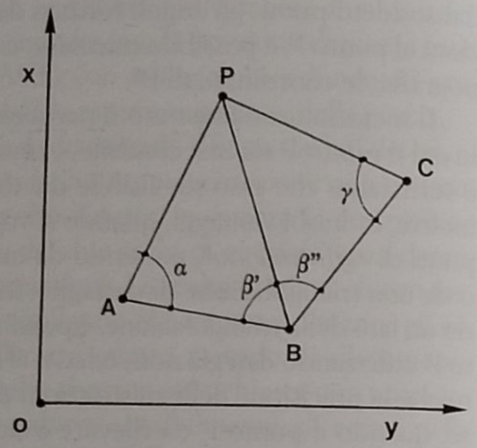


Fig. 9. Schema di intersezione multipla in avanti.

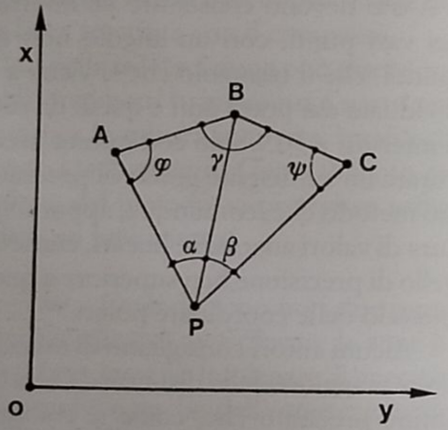


Fig. 10. Schema di intersezione inversa o problema di Snellius.

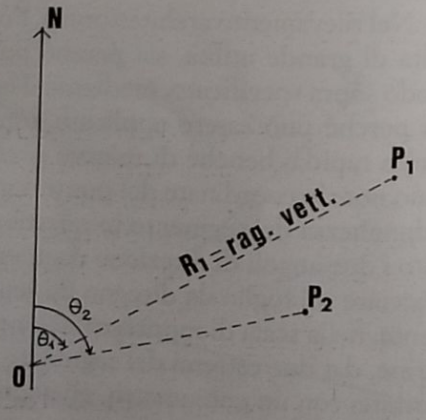


Fig. 11. Determinazione planimetrica di un punto «P» sul terreno mediante le coordinate polari. La posizione del punto è definita dall'angolo azimutale riferito ad una direzione prefissata e dal raggio vettore (distanza del punto dal polo O).

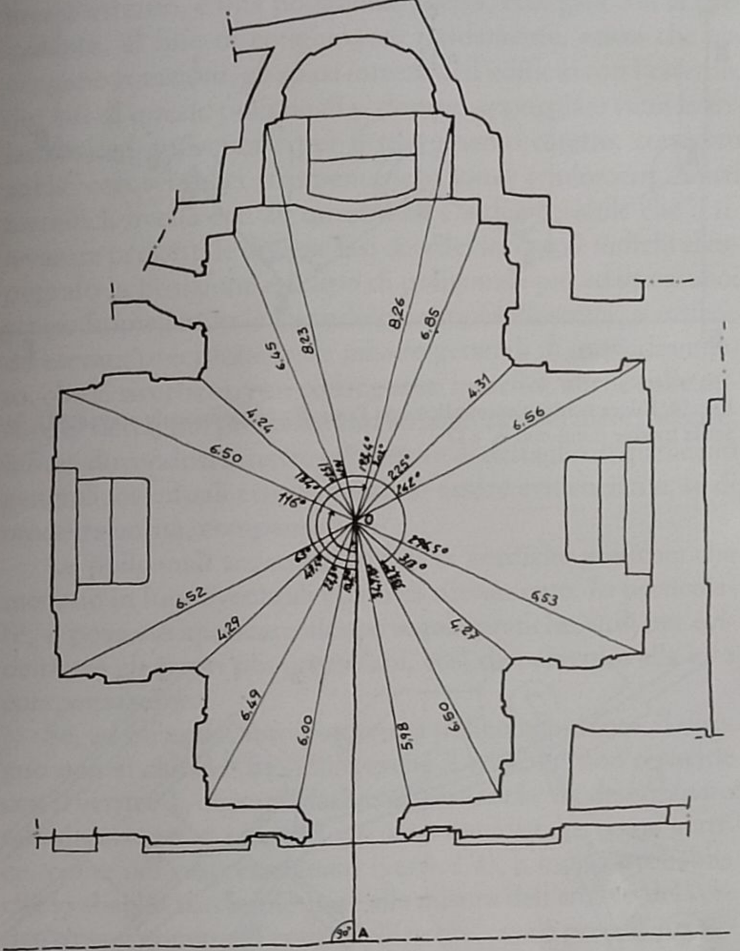


Fig. 12. Rilevamento planimetrico per coordinate polari (o per irradiamento), della chiesa di Sant'Eligio degli Orefici in Roma. La base di appoggio AO che collega l'interno con l'esterno, costituisce l'asse polare.

termina l'applicazione di un metodo di rilevamento, detto *poligonazione*, che consiste nel collegare in successione una serie di punti, A, B, C ecc., con una linea spezzata, denominata *poligonale*, misurando poi la lunghezza di tutti i lati e di tutti gli angoli in essa compresi (fig. 13). La poligonale può essere riferita a un punto arbitrario, assunto come origine delle coordinate, ma più di frequente si preferisce riferirla a punti noti: il vertice iniziale viene fatto coincidere con un punto prestabilito, in modo che sia possibile effettuare il calcolo delle coordinate dei punti della poligonale, riferendole alla rete nazionale. In alcuni casi può risultare utile inserire la poligonale stessa fra due punti di una rete trigonometrica nazionale o catastale, di posizione nota (fig. 14); ciò garantisce una maggiore precisione e consente anche di avere le coordinate dei punti sempre riferite al sistema nazionale.

Le poligonali si distinguono in *poligonazioni a catena*, dette anche *linee poligonali*, e in *poligonali chiuse*, così definite quando l'ultimo lato di esse si riporta sul punto di partenza (fig. 15a,b,c). Quando due o più poligonali si incontrano in un punto, questo prende il nome di *nodo*; in genere, le poligonali che concorrono in un punto, denominate *poligonali nodali*, risultano particolarmente utili nel rilevamento urbano, racchiudendo ciascuna di esse il perimetro di un isolato e incontrandosi nel nodo costituito dall'intersezione di due o più vie (cfr. fig. 16).

La determinazione della poligonale avviene mediante la misurazione (di solito effettuata con il metodo diretto) della lunghezza S_i dei lati che la compongono e tramite la determinazione della misura (effettuata con un teodolite o un tacheometro) degli angoli azimutali α_i, formati dai lati della poligonale stessa (fig. 17a,b). Attraverso una serie di relazioni matematiche, è possibile determinare le coordinate cartesiane di tutti i vertici della poligonale[6] in oggetto.

Oltre che di tipo aperto, come quelle sopra descritte, esistono poligonali di tipo chiuso (in cui, cioè, l'ultimo vertice coincide con quello di partenza), che presentano il vantaggio di una maggiore precisione e di una più facile compensazione.

Poiché rilievo e calcolo delle poligonali richiedono, per la loro complessità, l'impiego di personale altamente qualificato, quando si presenti la necessità di adottare questo metodo, il rilevatore dovrà ricorrere a un topografo di provata esperienza. Si vedrà in seguito come, per effettuare un rilevamento planimetrico con il metodo diretto, sia necessario, sovente, ricorrere all'ausilio di *allineamenti* o *basi*, alle quali appoggiare la trilaterazione. Allorché si debba eseguire un rilevamento di elevata precisione, è necessario che gli allineamenti o basi siano costituiti dai lati di poligonali aperte o chiuse. Come è ben evidente nella fig. 18, il rilevamento diretto di un edificio di grandi dimensioni e di notevole complessità richiede almeno una poligonale chiusa, esterna ad esso, onde determinare con la massima precisione il suo peri-

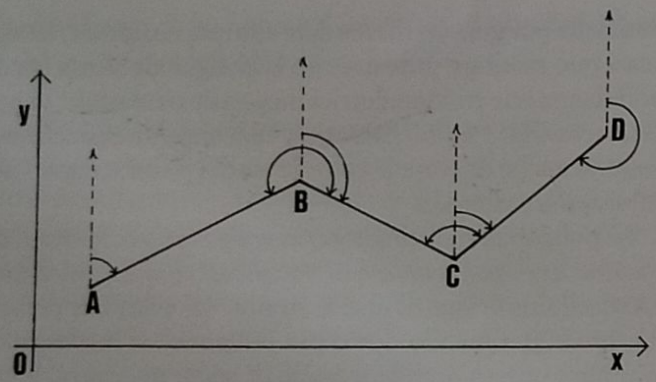


Fig. 13. Rilevamento planimetrico con l'uso di una poligonale aperta.

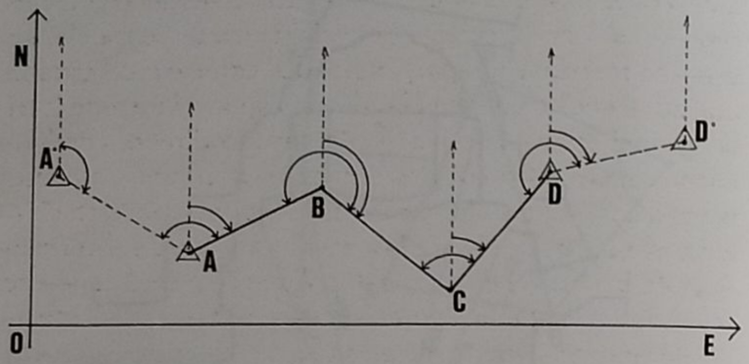


Fig. 14. Rilevamento planimetrico con l'uso di una poligonale aperta AD, inserita fra due punti noti A' e D'.

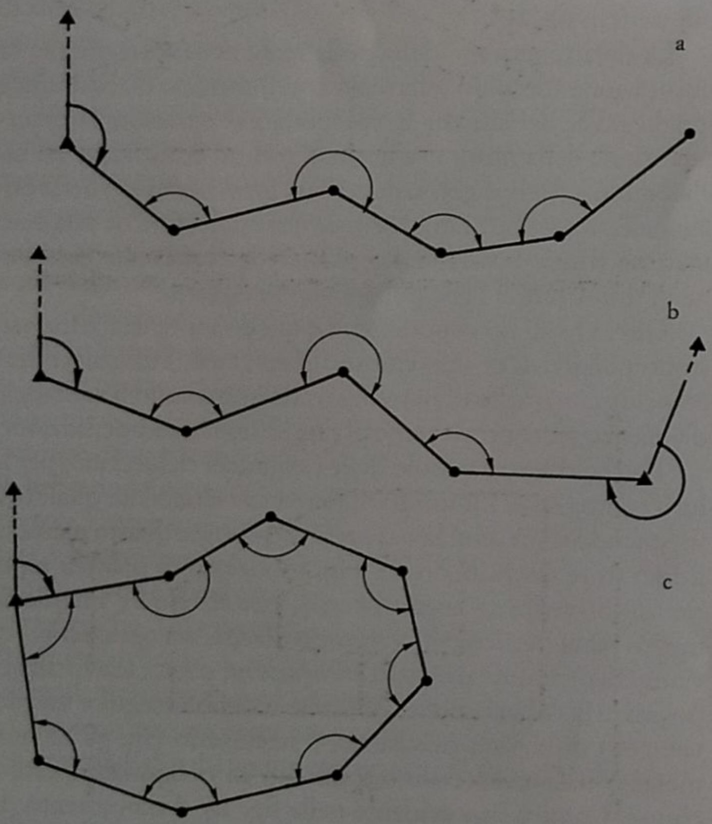


Fig. 15a,b,c. a) Schema di poligonazione aperta; b) poligonazione aperta con controllo su punti noti; c) poligonazione chiusa.

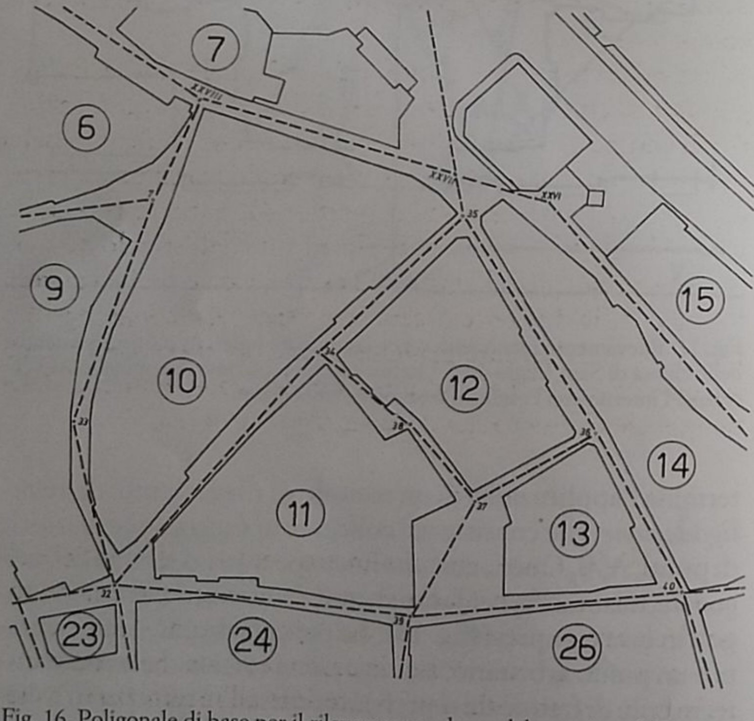


Fig. 16. Poligonale di base per il rilevamento urbano del quartiere di Trastevere in Roma. Tracciamento e calcolo della poligonale a cura del professore L. Monardo.

metro esterno, e una poligonale aperta, collegata con la precedente, al fine di congiungere rigidamente, senza che avvengano rotazioni, gli spazi interni dell'edificio con l'esterno. Sui lati di queste poligonali si devono appoggiare tutte le trilaterazioni approntate per il rilevamento diretto, condotto anche con semplici strumentazioni, quali triplometri, nastri metallici, livella ecc. In questi casi è indispensabile che il rilevatore progetti le diverse fasi del rilevamento e indichi al topografo la posizione e il tipo di poligonale più adatta ai suoi scopi. Impiegando la metodologia sopra illustrata, si ottiene un'elevata precisione nelle misure generali di inquadramento, che si riverbera, con conseguenti benefici, anche sulle misure di dettaglio, prelevate con strumentazioni meno precise; infine, dovendosi inserire tali misure di dettaglio in quelle più generali, eventuali errori potranno essere evidenziati e, se di modesta entità, compensati.

Le poligonali sono suscettibili di verifiche grafiche, che mettano in luce eventuali errori di rilevamento. In particolare, si possono applicare alcune regole pratiche, utili per evidenziare gli errori più grossolani, così da pervenire alla loro compensazione.

Se, ad esempio, tracciando una poligonale chiusa, il disegno non si chiude (fig. 19), perché il vertice 6 non coincide con il vertice 1, occorre risalire all'errore che ha determinato tale situazione; se i punti 1 e 6 sono equidistanti da un vertice, come nel caso esaminato (vertice 4), è molto probabile che lo sbaglio sia da imputare alla misura dell'angolo del vertice stesso; quanto all'entità dell'errore, essa è pari all'angolo formato dalle due rette uscenti dal vertice 4 e congiungenti i punti 6 e 1. Ad evitare manchevolezze nel rilevamento degli angoli, si ricorda che la sommatoria degli angoli interni della poligonale chiusa è data dalla seguente formula:

$$\Sigma = (180° \cdot n) - 360°,$$

nella quale n rappresenta il numero dei lati o dei vertici della poligonale. Si consiglia, dunque, di effettuare la sommatoria degli angoli rilevati nella fondamentale e di rappresentare il suo valore con la formula sopra indicata. Se le cifre differiscono per un'entità pari o inferiore all'incertezza (o tolleranza) ammessa, non si sono commessi effettivi errori; diversamente, si dovrà effettuare un controllo dei dati rilevati.

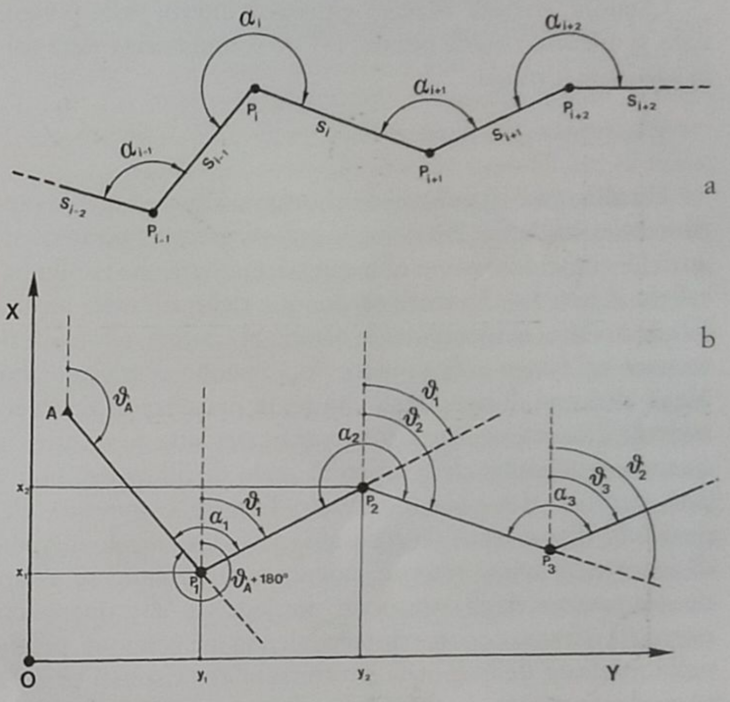


Fig. 17a,b. a) Poligonazione con indicati gli elementi oggetto di misurazione; b) determinazione delle coordinate cartesiane dei vertici di una poligonale.

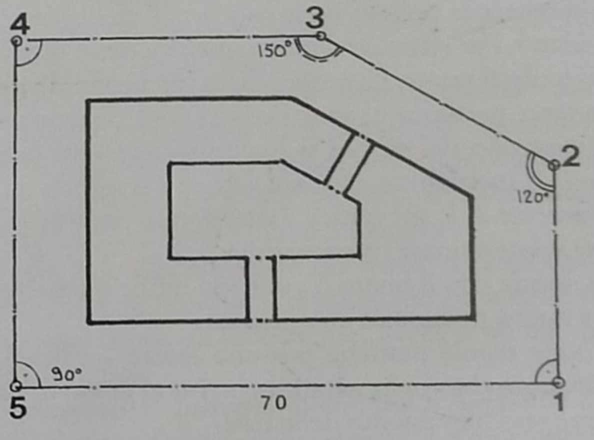


Fig. 18. Tracciamento di una base di appoggio (poligonale chiusa), esterna ad un edificio, per il rilevamento del suo perimetro.

Qualora, anziché rilevare gli angoli interni della poligonale, si misurino quelli esterni, la loro sommatoria è data dalla seguente formula:

$$\Sigma = (180° \cdot n) + 360°$$

Un altro caso di poligonale che non si chiude è quello rappresentato nella fig. 20: come si può osservare, i punti 6 e 1, anziché coincidere, sono allineati su una retta che risulta parallela al lato 3-4. L'errore va dunque ricercato nella misura di questo lato, evidentemente errata. Si tratterà, allora, di ritornare sul luogo e di ripetere l'operazione di rilevamento. Negli altri casi di poligonali chiuse, in presenza di valori eccedenti l'incertezza, occorre riverificare tutte le misure, in quanto, dall'esame del grafico in scala di riduzione, non si può dedurre dove sia localizzato l'errore commesso. Per quanto il rilevamento sia accurato, però, un piccolo margine di incertezza esiste sempre, dovuto sostanzialmente all'approssimazione degli strumenti impiegati e alle operazioni eseguite, ma non occorre ripetere alcuna misurazione, poiché nella migliore delle ipotesi si otterrebbero risultati simili ai precedenti, mentre è preferibile effettuare una compensazione grafica della poligonale durante l'esecuzione del disegno.

Nella fig. 21 è rappresentata una poligonale che non si chiude, dal momento che i punti 6 e 1 non coincidono. In tale situazione, misurata la distanza che intercorre tra i due punti, se essa rientra nel limite di tolleranza consentito, si deve ridisegnare la poligonale in modo tale che i punti 6 ed 1 coincidano. Per effettuare questa operazione, si congiunge il punto 6 con il punto 1 a mezzo di un segmento, dividendolo poi in tante parti quanti sono i vertici della poligonale; quindi su ciascuno dei vertici si tracciano segmenti paralleli a quello 6-1; successivamente, sul vertice 2 si riporta una parte del segmento 6-1, sul vertice 3 due parti e così via; si vengono così a determinare i nuovi vertici, 1, 2', 3', 4', 5', 6' e il punto 1 coincide con il punto 6'; unendo infine questi vertici, si avrà la nuova poligonale compensata.

Queste regole pratiche possono essere applicate anche dal rilevatore che voglia garantire un buon grado di precisione al proprio rilevamento delle basi.

Quanto fin qui è stato illustrato attiene all'uso dei metodi tradizionali di rilevamento, ma, come è già stato sottolineato,

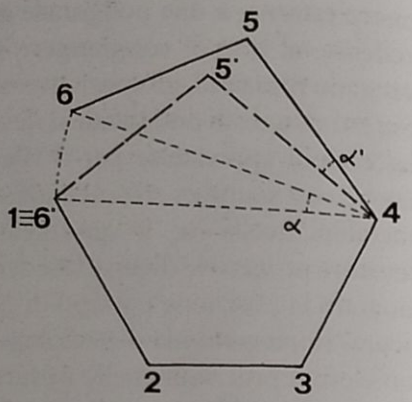


Fig. 19. Tracciamento grafico di una poligonale chiusa. Il vertice 6 non coincide con il vertice 1; il disegno evidenzia un errore angolare da ricercarsi nel vertice 4.

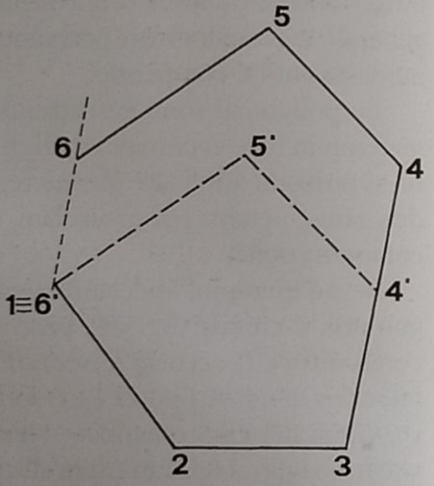


Fig. 20. Tracciamento grafico di una poligonale chiusa. Il vertice 6 non coincide con il vertice 1; il grafico evidenzia un errore da ricercarsi nella lunghezza del lato 3-4.

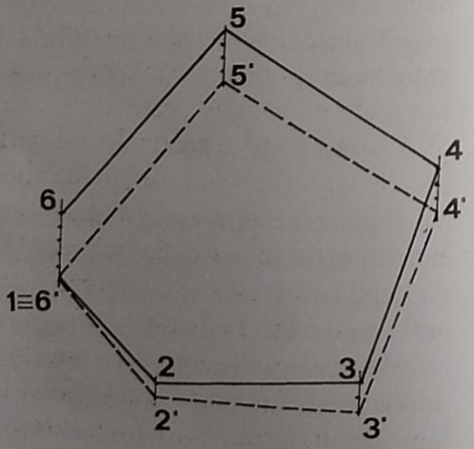


Fig. 21. Tracciamento grafico di una poligonale chiusa; la mancata coincidenza tra il primo vertice e l'ultimo, rientra nei limiti della tolleranza. Il disegno a tratto evidenzia la poligonale prima della compensazione, mentre il disegno a tratteggio rappresenta la poligonale compensata.

la rappresentazione dei diversi tipi di rilevamento, eseguita esclusivamente per via grafica, conduce inevitabilmente a risultati di non buona precisione. Attualmente, però, è possibile effettuare il calcolo delle coordinate dei punti da rilevare, utilizzando degli specifici software, che consentano non solo il calcolo, ma anche la compensazione dei vari tipi di intersezione o di poligonale. Si consiglia, in tal caso, di utilizzare una stazione totale, munita di distanziometro laser, interfacciata con un computer portatile, dotato di software specifici per la topografia. Con queste attrezzature è lo stesso software che guida l'operatore: i risultati del rilevamento vengono visualizzati direttamente sul monitor del computer e ciò consente anche un controllo visivo da parte dell'operatore. È evidente che i programmi informatici agevolano notevolmente tutte queste operazioni, che possono essere svolte anche da un rilevatore esperto, senza dover ricorrere all'ausilio di un topografo.

Aspetti teorici del rilevamento altimetrico

Come si è già detto, la posizione di un punto è nota quando sono conosciute le tre coordinate cartesiane che lo definiscono rispetto al sistema di riferimento prescelto. Avendo indicato in precedenza come si possano determinare le due coordinate che lo posizionano planimetricamente rispetto alla superficie orizzontale di riferimento, occorre ora esaminare i metodi per determinare la posizione altimetrica del punto, detta *quota*, in relazione ad una specifica superficie di riferimento. Tali metodi prendono il nome di *livellazione*.

La superficie di riferimento per la determinazione altimetrica dei punti non si identifica con quella utilizzata per la loro determinazione planimetrica, ma si riferisce al *livello medio marino*. Questa particolare superficie individua quella del geoide terrestre, o meglio quella che viene definita *superficie equipotenziale di gravità*, intendendosi, con questo termine, il livello medio dei mari in bonaccia[7]. La quota di un punto è dunque la distanza che intercorre tra il punto stesso e la superficie del livello medio marino o superficie del geoide.

Il territorio nazionale è coperto da una rete di capisaldi fondamentali di riferimento, individuati mediante contrassegni metallici ancorati a murature o ad altri supporti rigidi, che si distinguono in capisaldi orizzontali e capisaldi verticali: di ciascuno è nota l'ubicazione e la relativa quota. La rete di livellazione geometrica italiana si suddivide in quattro categorie: alla prima appartengono i *capisaldi nodali*, ubicati laddove avviene l'incontro di più linee di livellazione; alla seconda, *i capisaldi fondamentali*, ubicati ogni 25 km di linea; alla terza, i *capisaldi principali*, dislocati ogni 5 km di linea; infine, alla quarta categoria appartengono i capisaldi posti a distanza di 1 km l'uno dall'altro.

La determinazione altimetrica di un punto si può ottenere partendo dalla quota altimetrica nota di uno dei capisaldi della rete nazionale (fig. 22), tenuto conto che essa è rappresentata dalla differenza altimetrica tra il punto stesso e il piano di riferimento. Tuttavia, non è sempre indispensabile porre in relazione le quote dei punti con il piano di riferimento; risulta evidente, però, che è sempre possibile prendere un qualsiasi punto della superficie terrestre e riferire ad esso la quota di tutti i punti da rilevare; in tal caso, la determinazione altimetrica dovrà individuare i dislivelli tra il punto assunto arbitrariamente come caposaldo e i punti da rilevare.

Livellazioni. Quando la livellazione abbraccia vaste zone del territorio, prende il nome di *livellazione geometrica nel campo geodetico*, mentre, allorché interessa piccole e limitate estensioni di esso, prende il nome di *livellazione geometrica tecnica* o *topografica*. Tenuto conto dell'ambito proprio del rilevamento architettonico e della limitatezza delle zone da rilevare, si può dire che le livellazioni di interesse specifico siano quelle di tipo topografico.

La determinazione delle livellazioni avviene mediante l'individuazione di linee di mira orizzontali, ottenute di solito con l'impiego di livelli a cannocchiale: misurando la quota di ciascun punto rispetto a tali linee, si possono determinare le quote dei singoli punti del terreno.

In relazione alla posizione del livello a cannocchiale rispetto ai punti da rilevare, si distinguono tre metodi di livellazione: livellazione da un estremo, livellazione dal mezzo e livellazione mista.

Per misurare il dislivello di due punti A e B con il metodo di *livellazione da un estremo*, si pone lo strumento sul punto A, si misura l'altezza h_A del punto rispetto alla linea di mira del cannocchiale, quindi, con il tratto orizzontale del reti-

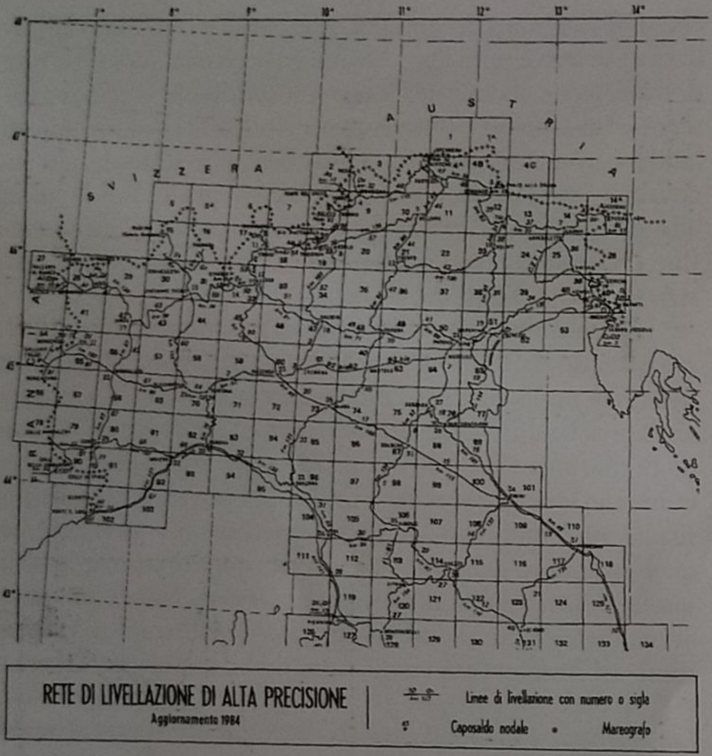


Fig. 22. La rete italiana di livellazione di alta precisione.

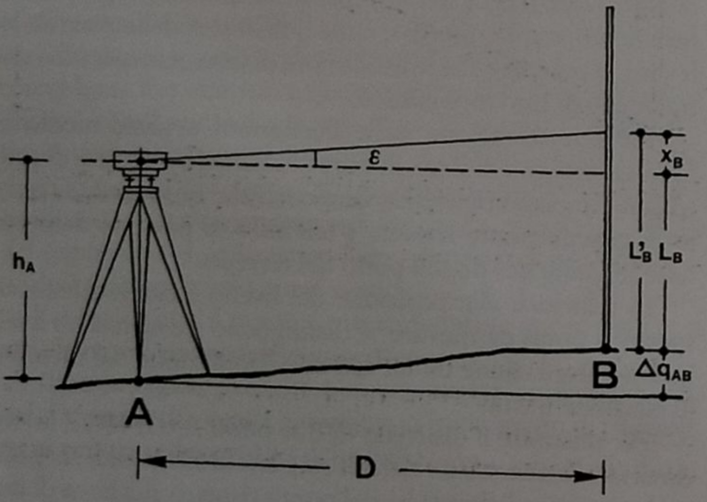


Fig. 23. La livellazione da un estremo.

colo del cannocchiale si legge la misura L_B su una stadia verticale, disposta nel punto B (fig. 23). Il dislivello Δq_{AB} del punto B rispetto ad A, è dato dall'espressione:

$$\Delta q_{AB} = h_A - L_B$$

Nel caso in cui il punto B sia più alto del punto A, si avrà un dislivello positivo, mentre, se il punto B è più basso del punto A, il dislivello sarà di tipo negativo.

Affinché l'operazione di rilevamento sia esatta, occorre che la linea di mira sia perfettamente orizzontale; poiché tale condizione è puramente teorica, dal momento che lo strumento conserva sempre un errore di rettifica, l'errore di dislivello è così definito:

$$X_B = L'_B - L_B = D \cdot \varepsilon$$

da cui deriva che il dislivello tra i punti A e B è dato da:

$$\Delta q_{AB} = h_A - (L'_B \pm x)^8.$$

Per eliminare l'errore di orizzontalità della linea di mira dello strumento di livellazione, si ricorre al metodo della *livellazione dal mezzo*. Volendo misurare il dislivello tra i punti A e B, si pone lo strumento in posizione intermedia tra essi (fig. 24); il dislivello è dato dalla differenza dei valori letti sulla stadia verticale, disposta nei punti A e B, secondo l'espressione:

$$\Delta q_{AB} = L'_A - L'_B$$

Come si può osservare nella fig. 24, essendo uguale l'angolo ε di errore di orizzontalità, nelle due direzioni, x_A risulta uguale a x_B e pertanto i due errori si annullano.

La lettura L'_A sulla stadia, nel punto A, viene denominata *battuta indietro*, mentre la lettura L'_B, nel punto B, prende il nome di *battuta in avanti*.

Quando il metodo della livellazione dal mezzo non può essere applicato, è possibile mettere in atto quello della *livellazione mista*, che consiste nel fare due livellazioni da due stazioni scelte arbitrariamente, ma sempre all'interno dei punti A e B; per ottenere il dislivello tra i punti A e B, occorre allora fare la media delle due letture sul punto A e quella delle due letture sul punto B e controllare, quindi, il dislivello tra le due medie.

Quando la pendenza del terreno è molto forte e non è possibile abbracciare con una sola stazione i punti A e B, si ricorre (cfr. fig. 25) all'ausilio di alcuni punti intermedi. Così facendo, si raccomanda molta cura nella registrazione delle letture, per non incorrere in grossolani errori. Occorre anche ricordare che le letture indietro debbono essere trascritte con il segno positivo, mentre le letture in avanti, con il segno negativo: ciò consentirà di ottenere il dislivello come somma algebrica delle letture stesse. In tal caso si ha:

$$\Delta q_{AB} = (+\,1{,}95 - 0{,}90 + 2{,}30 - 0{,}60) = 2{,}75$$

Il dislivello è ottenuto sommando algebricamente tutte le letture indietro e tutte quelle in avanti.

Si è esaminata fin qui la posizione di un punto, determinandone separatamente quella planimetrica e quella altimetrica; in molti casi, però, può essere utile rilevarne contemporaneamente le tre coordinate spaziali. Il rilevamento numerico completo prende il nome di *celerimensura* e consiste nel rilevare la misura degli angoli di orientamento, delle distanze e dei dislivelli, mediante un tacheometro o una stazione totale e una stadia verticale.

Sostanzialmente, il principio teorico e le espressioni matematiche che consentono di determinare le coordinate di un punto sono quelli appresso riportati.

La determinazione di punti dello spazio circostanti a una stazione S si può ottenere in tal modo: si posiziona uno strumento topografico nel punto A; facendo poi coincidere la stazione S con il punto A, si assume il centro O dello strumento come origine del sistema di coordinate cartesiane ortogonali a cui riferire tutti i punti circostanti (fig. 26); fissata arbitrariamente la direzione da dare all'asse delle X, le coordinate di un generico punto B risultano essere le seguenti:

$$X_B = D \cdot \cos\theta$$
$$Y_B = D \cdot \operatorname{sen}\theta$$
$$Z_B = D \cdot \operatorname{cotg} z$$

dove D rappresenta la distanza topografica del generico punto B dalla stazione A, O l'angolo di orientamento orizzontale e z l'angolo verticale.

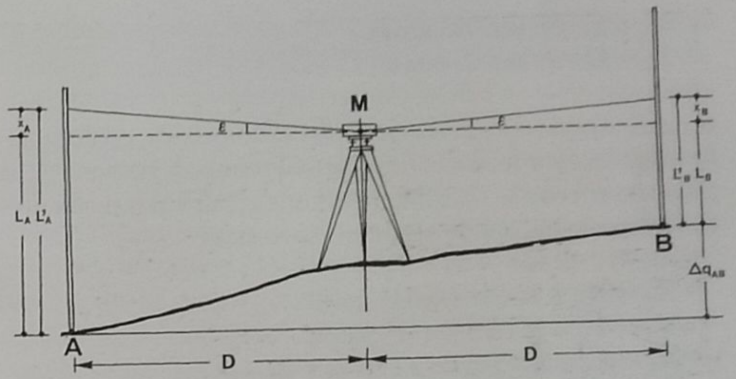


Fig. 24. Livellazione dal mezzo.

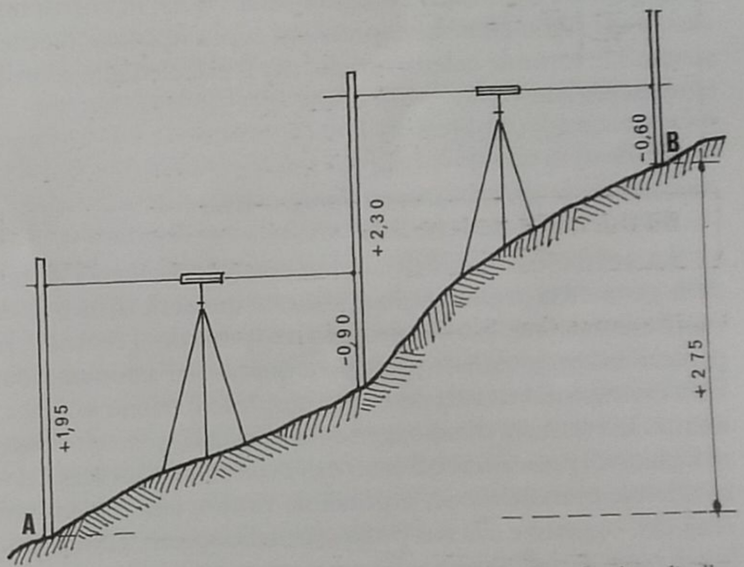


Fig. 25. Rilevamento del dislivello fra i punti A e B con l'ausilio di un livello a cannocchiale. Se il dislivello fra i due punti è rilevante occorre effettuare più di una «stazione» e in questo caso il dislivello complessivo è dato dalla somma algebrica delle letture in «avanti» e «indietro».

Nel caso in cui non si disponga di una stazione totale, ma di un semplice tacheometro, la distanza D del punto B dal centro dello strumento può essere calcolata utilizzando la lettura sulla stadia verticale e impiegando le seguenti formule:

$$X_B = K \cdot S \cdot \operatorname{sen}^2 z \cdot \cos\theta$$

$$Y_B = K \cdot S \cdot \text{sen}^2 z \cdot \text{sen}\,\theta$$
$$Z_B = K \cdot S \cdot \text{sen}\, z \cdot \cos z$$

dove K rappresenta la costante distanziometrica; qualora siano note le coordinate cartesiane del punto di stazione A, si possono riferire le coordinate di tutti gli altri punti alla precedente origine, con le seguenti espressioni:

$$X_B = X_A + K \cdot S \cdot \text{sen}^2 z \cdot \cos\theta$$
$$Y_B = Y_A + K \cdot S \cdot \text{sen}^2 z \cdot \text{sen}\,\theta$$
$$Z_B = Z_A + K \cdot S \cdot \text{sen}\, z \cdot \cos z + \Delta i - L_M$$

dove Δi rappresenta l'altezza dello strumento rispetto al punto A, mentre L_M indica la lettura sulla stadia, in corrispondenza del filo medio. Le espressioni sopra riportate rappresentano le formule celerimetriche per il calcolo delle coordinate cartesiane[9].

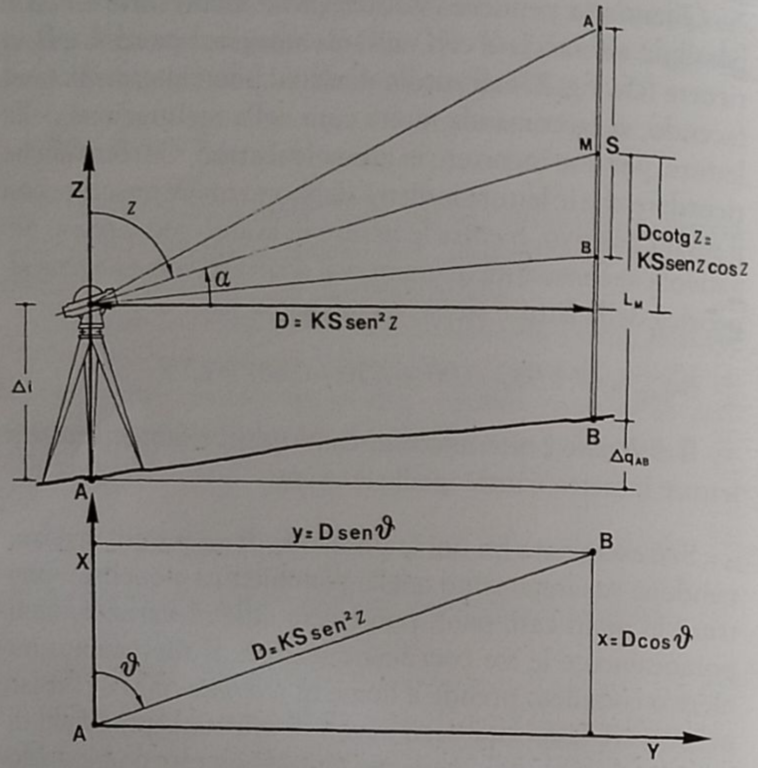


Fig. 26. Formule per il rilevamento numerico; schema altimetrico e planimetrico.

Aspetti teorici del rilevamento fotogrammetrico

La geometria descrittiva, attraverso i fondamenti teorici della geometria proiettiva, ha codificato una serie di metodi di rappresentazione, quali la prospettiva (proiezioni centrali), le proiezioni ortogonali, le proiezioni quotate e l'assonometria. Essi consentono di ottenere una rappresentazione univocamente determinata di un oggetto nello spazio, una volta fissato il piano di proiezione e il centro di proiezione; viceversa, data una rappresentazione, è possibile risalire alle dimensioni reali dell'oggetto e alla sua posizione nello spazio. La possibilità di passare dall'oggetto alla sua rappresentazione e viceversa è facilmente osservabile in alcuni metodi di rappresentazione, ad esempio nelle proiezioni ortogonali o nell'assonometria. In altri, ad esempio nella prospettiva, il problema è meno evidente, ma comunque risolvibile, poiché si tratta sempre di un tipo di rappresentazione legato alla corrispondenza biunivoca tra i punti del piano e quelli dello spazio.

Se occorre risalire da una prospettiva (costruita geometricamente) alle dimensioni dell'oggetto rappresentato, bisogna compiere a ritroso il percorso secondo il quale, partendo dalla rappresentazione in proiezione ortogonale di un oggetto, si ottiene la sua rappresentazione prospettica[10]. Tale operazione, che prende il nome di *restituzione prospettica* o *fotogrammetria elementare*, consiste nel ricercare tutti gli elementi principali del sistema prospettico; si tratta, in altre parole, di ritrovare l'orizzonte, il punto e la distanza principali, determinati i quali è possibile risalire alle misure reali dell'oggetto. I princìpi teorici della restituzione prospettica, se applicati alla fotografia, prendono il nome di *fotogrammetria elementare*. La restituzione di un fotogramma è possibile, dal momento che anch'esso è una proiezione centrale (come la prospettiva) se si trascurano le eventuali aberrazioni dell'obiettivo.

Come è noto, la fotografia si ottiene attraverso una *camera*, sulle cui facce contrapposte sono applicati da una parte l'obiettivo, che consente il passaggio della luce, dall'altra, la pellicola impressionabile. Gli oggetti posti all'esterno, davanti all'obiettivo (generalmente un sistema di lenti convergenti), vengono proiettati da quest'ultimo sulla pellicola, rimpiccioliti e rovesciati, come si può osservare nello schema rappresen-

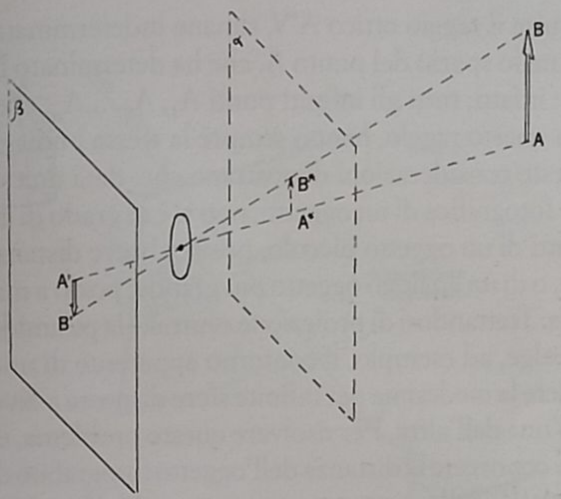


Fig. 27. Schema illustrante le relazioni proiettive tra fotografia di un oggetto (a tratto continuo) e immagine prospettica del medesimo (tratteggiato).

tato dalla fig. 27. Tenendo conto della distanza che intercorre fra il centro dell'obiettivo (o, più precisamente, il secondo punto nodale) e la pellicola, e immaginando di tagliare lo schema con un piano α disposto alla stessa distanza, ma tra l'obiettivo e l'oggetto, l'intersezione del raggio visivo con il piano α individua un'immagine identica, per dimensione, a quella proiettata sulla pellicola fotografica (negativo), ma disposta in posizione diritta. Come si può osservare, peraltro, nello schema della fig. 28, tra il negativo e il positivo di una fotografia esiste la stessa relazione che intercorre tra negativo e prospettiva: tutto ciò conferma l'identità enunciata. Per maggiore chiarezza, si esamini lo schema della fig. 28, dove sono riportate, in sezione, la proiezione fotografica e la prospettiva: l'oggetto AB si proietta sul piano pellicola in A'B'; il piano secante α interseca i raggi ottici provenienti dall'oggetto e su questi si forma l'immagine A*B*; dall'esame dei triangoli si deduce che A'B' è uguale A*B*. Da quanto si è detto, risulta dimostrato che la fotografia A'B' dell'oggetto AB è del tutto identica a una prospettiva dello stesso oggetto, effettuata con il punto di vista coincidente con il centro del sistema ottico dell'obiettivo e con un quadro posto alla stessa distanza intercorrente tra detto centro e la pellicola fotografica.

Dimostrata la perfetta identità tra fotografia e prospettiva, si comprende come sia possibile applicare alla prima i fondamenti teorici della seconda, e risalire così alle misure reali degli oggetti fotografati. Si accennerà per questo alla *stereofotogrammetria*, più comunemente detta anche *fotogrammetria*.

Per affrontare il problema teorico della fotogrammetria è indispensabile richiamare alcuni princìpi di fisiologia della visione; è noto, infatti, che la capacità visiva umana gode della facoltà del *rilievo*, intendendo con ciò la visione stereoscopica. Come si può facilmente constatare per esperienza diretta, la percezione della profondità è avvertita dal nostro apparato percettivo, purché l'oggetto sia disposto in un ambito non troppo lontano. Osservando la fig. 29, si nota che l'angolo di convergenza delle due pupille varia notevolmente in funzione della distanza dell'oggetto, e che la differenza di distanza di due punti è da porre in relazione alla variazione della *parallasse angolare* δ.

Quando il punto si allontana verso l'infinito, i due raggi ottici sono meno convergenti e la parallasse angolare pressoché nulla; di conseguenza, viene annullato l'effetto di profondità. Una verifica della differenza di apprezzamento della profondità, tra visione binoculare e visione monoculare, la si può effettuare ponendo due matite (fig. 30) vicino agli occhi e osservandole prima con un solo occhio e poi con entrambi: si noterà come l'osservazione con un solo occhio non consenta di apprezzare la dislocazione nello spazio delle due matite[11].

Applicando questa proprietà alla fotografia, si può realizzare la stereofotogrammetria, la quale, come si vedrà, sfrutta il principio della parallasse per giungere alla restituzione grafica e ricavare le misure del soggetto, utilizzando due fotogrammi ripresi da due punti diversi.

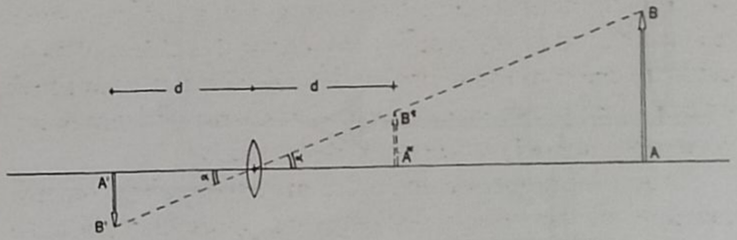


Fig. 28. Schema illustrante le relazioni geometrico-proiettive, tra fotografia e immagine prospettica.

La restituzione da un solo fotogramma (cfr. *infra*, cap. X) presenta alcune difficoltà: infatti, ipotizzando di avere un fotogramma (fig. 31) del quale siano noti il punto (intersezione dell'asse ottico con la pellicola) e la distanza (focale della camera)[12] principali, è possibile ricostruire il percorso inverso di un generico raggio ottico, ad esempio di quello che ha determinato l'immagine A' della cuspide della torre raffigurata. Come si può verificare dall'esame della figura, mentre è facile costruire il raggio ottico A'V, rimane indeterminata la posizione nello spazio del punto A, che ha determinato l'immagine A'; infatti, tutti gli infiniti punti A_1, A_2, ...A_n, che si trovano su questo raggio, hanno sempre la stessa immagine.

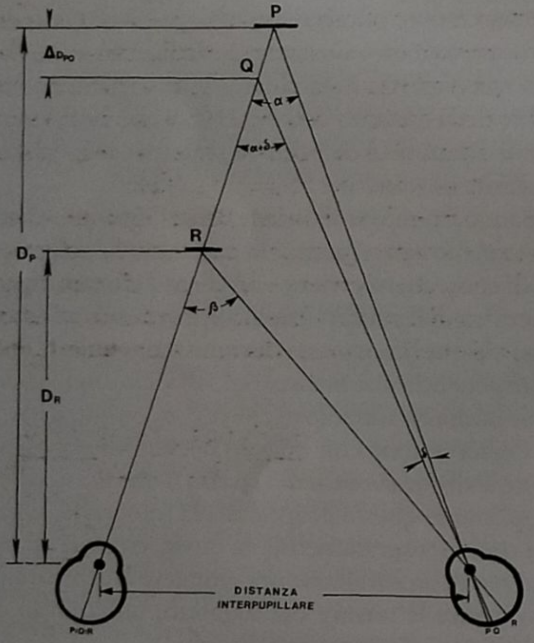


Fig. 29. Schema del sistema telemetrico della visione umana.

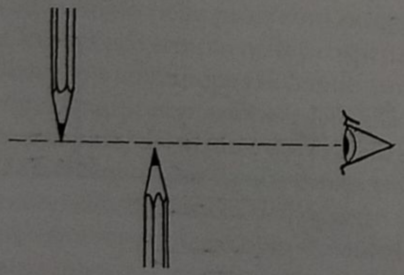


Fig. 30. La visione monoculare non consente di apprezzare la posizione, nello spazio, delle due matite.

Queste considerazioni dimostrano che, data una sola immagine fotografica di un oggetto, non si è in grado di stabilire se si tratti di un oggetto piccolo, posto a breve distanza dalla camera, o di un analogo oggetto più grande, posto a maggiore distanza. Trattandosi di proiezione centrale, la piramide visiva che avvolge, ad esempio, il contorno apparente di una sfera, può essere la medesima per infinite sfere disposte a diversa distanza l'una dall'altra. Per risolvere questo problema, occorre dunque conoscere la distanza dell'oggetto fotografato dal centro ottico (V) della camera, oppure una o più dimensioni reali dell'oggetto. Si comprende, pertanto, come il procedimento di restituzione delle misure da singolo fotogramma non sia molto agevole, per le difficoltà sopra ricordate.

Il problema della individuazione della posizione, nello spazio, di un punto appartenente a una fotografia risulta immediatamente risolto se, come mostra la fig. 32, lo stesso punto appare in due diversi fotogrammi; infatti, in questo caso, i due raggi passanti per i centri V_1 e V_2 e per i punti P' e P" si incontrano nello spazio nel punto P cercato. Risulta subito evidente che, se si hanno due fotogrammi di uno stesso oggetto scattati da due punti diversi, e se essi sono orientati nella stessa posizione che avevano al momento della ripresa fotografica, è possibile far passare due raggi per il centro V di ogni singolo fotogramma e per i punti omologhi, raggi che si incontrano in un punto P', di cui si possono misurare le coordinate spaziali. Ovviamente, se i due fotogrammi fossero posti, l'uno rispetto all'altro, alla stessa distanza che avevano al momento della ripresa, si otterrebbe un modello spaziale analogo a quello reale e l'intersezione dei vari raggi omologhi avverrebbe a grande distanza; di conseguenza, la misura di questi punti di intersezione dei raggi presenterebbe la stessa difficoltà di quella che si incontrerebbe nel misurare il soggetto reale. Per contro, se i due fotogrammi sono orientati come al momento della ripresa, ma la loro distanza è opportunamente ridotta (ad esempio nel rapporto 1/10), si ottiene un modello spaziale molto più piccolo (1/10 di quello reale), che può essere realizzato in laboratorio e facilmente misurato.

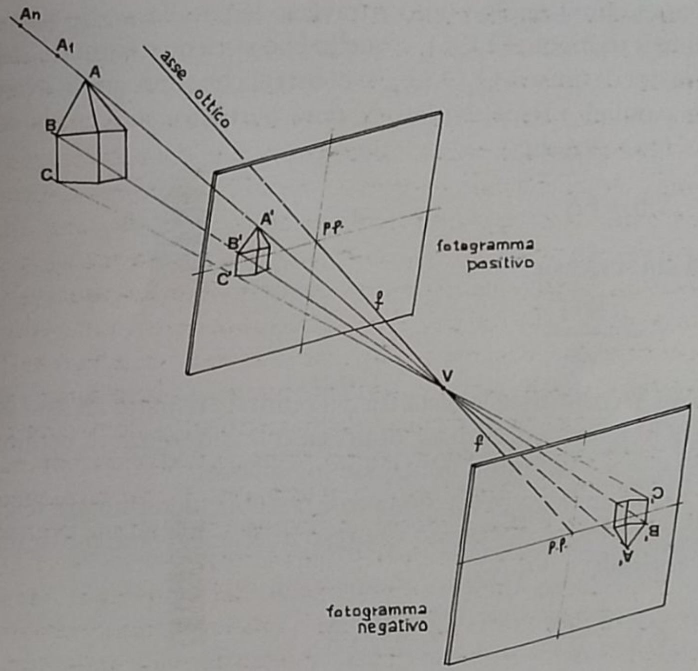


Fig. 31. Schema delle relazioni fra oggetto, fotogramma positivo e fotogramma negativo.

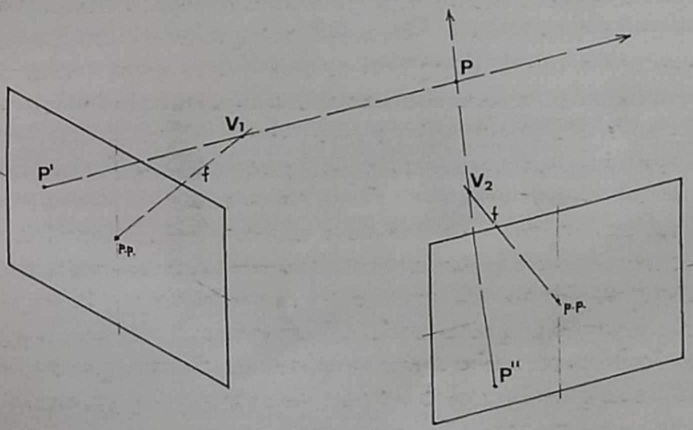


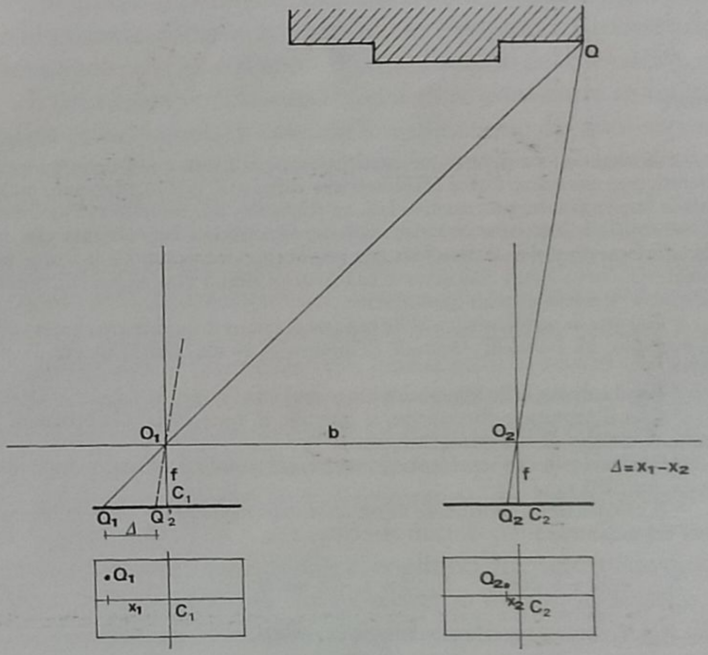
Fig. 32. Determinazione, nello spazio, di un punto mediante due fotogrammi dello stesso.

Fig. 33. Schema della ripresa stereofotogrammetrica di un punto Q. Il disegno illustra in pianta la posizione del punto Q e delle due immagini Q_1 e Q_2 che si formano sulle due lastre sensibili. Nel disegno i due fotogrammi sono rappresentati, oltre che in pianta, anche in prospetto.

Sui concetti di creazione di un modello spaziale ridotto con due fotogrammi e di intersezione della doppia piramide visiva si fonda, appunto, la stereofotogrammetria, che, sfruttando il principio della parallasse[13], consente di rilevare le misure, attraverso due fotogrammi, e di giungere alla restituzione. Tale procedimento è possibile, dal momento che per ogni punto fotografato si rileva il rispettivo parallasse, determinato attraverso una coppia di fotogrammi: occorre, pertanto, che tutti i punti da rilevare siano presenti in ambedue i fotogrammi che compongono il modello ripreso da una base misurata.

Generalmente, l'asse ottico di ripresa di ciascuna coppia di fotogrammi è disposto perpendicolarmente alla base di ripresa e quest'ultima è parallela alla superficie da rilevare. In alcuni casi particolari, l'asse ottico può anche non essere perpendicolare alla base di ripresa, ma è consigliabile che entrambi i fotogrammi lo abbiano parallelo.

Per comprendere il principio teorico della stereofotogrammetria, occorre prendere in esame lo schema indicato nella fig. 33, che riproduce la pianta di una ripresa fotogrammetrica del punto Q: sono evidenziati, in esso, i centri dei due obiettivi O_1 e O_2, la distanza principale f (distanza fo-



cale) e la posizione verticale delle lastre. Per facilitare la comprensione dello schema spaziale, il disegno riproduce, nella parte bassa, il ribaltamento delle due lastre, che sono così viste anche in prospetto. Effettuata la ripresa fotografica, il punto Q determina sulle due lastre due immagini, rispettivamente il punto Q_1 sulla lastra di sinistra, e il punto Q_2 sulla lastra di destra. Prendendo una coppia di assi cartesiani e facendo coincidere l'origine del sistema con il centro O_1 dell'obiettivo di sinistra, l'asse delle X risulta parallelo ai fotogrammi e passa per O_1 e O_2, mentre l'asse delle Y risulta perpendicolare alla base b di ripresa. Costruendo, a partire dal centro ottico di sinistra O_1, la parallela al raggio visuale O_2Q, si ottiene, sulla lastra sinistra, il punto Q'_2; effettuando la differenza di ascissa tra i punti Q_1 e Q_2, si individua la distanza D, che prende il nome di «parallasse del punto Q».

Come si può osservare, sul fotogramma di sinistra il triangolo $Q'_2\hat{O}_1C_1$ e il triangolo $Q_1\hat{O}_1C_1$ determinano le differenze dei due valori angolari, e quindi la parallasse. Dall'esame della figura è possibile trarre attraverso la similitudine dei vari triangoli una relazione che permette di calcolare le coordinate di ogni singolo punto attraverso la parallasse. Se si esamina il triangolo O_1QO_2 e quello che si viene a formare sulla lastra di sinistra $Q_1O_1Q'_2$, si constata che sono simili, avendo paralleli i rispettivi lati. Si può, pertanto, scrivere la seguente relazione:

$$Y:b = f:\Delta$$

da cui si ricava:

$$Y = \frac{b \cdot f}{\Delta}$$

dove Y costituisce la distanza del punto Q rispetto all'asse X, b la lunghezza della base di presa, Δ la differenza di ordinate $(x_1 - x_2)$ dei punti immagine (parallasse).

Con analogo procedimento è possibile determinare le altre coordinate del punto Q preso in esame, come mostrano le formule:

$$X = \frac{b \cdot x}{\Delta} \qquad Z = \frac{b \cdot z}{\Delta}$$

Note

[1] Si ricorda, che mentre un quadrilatero, con i suoi quattro vertici incernierati, può assumere forme planimetriche differenti, pur mantenendo inalterata la lunghezza dei suoi quattro lati, un triangolo, incernierato nei suoi vertici, non può che assumere una e una sola configurazione. Ne consegue che, noti i lati di un triangolo, è possibile rappresentarne univocamente la forma planimetrica, anche senza conoscere il valore degli angoli formati dai lati, mentre ciò non è possibile con un quadrilatero.

[2] Su tutta la problematica delle reti geodetiche e trigonometriche, si veda, ad esempio, M. Fondelli, *Manuale di topografia*, Roma-Bari 1991, vol. II, pp. 147-179.

[3] Per il calcolo delle intersezioni in avanti, cfr. ivi, pp. 181 sgg.

[4] Con il termine raffittimento, si intende, in topografia, l'inserimento di punti all'interno di una triangolazione.

[5] Per il calcolo dell'intersezione inversa, cfr. Fondelli, *Manuale di topografia* cit., pp. 185 sgg.

[6] Il calcolo delle coordinate viene effettuato mediante le seguenti espressioni matematiche:

$$X_{i+1} = X_i + S_i \cos \theta_i \qquad Y_{i+1} = Y_i + S_i \operatorname{sen} \theta_i$$

dove X_i e Y_i sono le coordinate del vertice precedente, S_i è la lunghezza del lato precedente e θ_i l'angolo azimutale. Quest'ultimo può essere ricavato agevolmente, come mostra la fig. 17b, noto l'azimut θ_A del primo punto e gli angoli interni α_1, della poligonale. Per maggiori informazioni, cfr. ivi, pp. 199 sgg.

[7] Per maggiori informazioni sulle relazioni tra la superficie di livello e il geoide, cfr. ivi, pp. 210 sgg.

[8] Per maggiori informazioni sul problema teorico delle livellazioni, cfr. ivi, pp. 216 sgg.

[9] Per maggiori informazioni sul problema teorico relativo al rilevamento numerico completo (celerimensura), cfr. ivi, pp. 289 sgg.

[10] Per maggiori informazioni sui princìpi teorici della restituzione prospettica, vedi M. Docci, *Princìpi di fotogrammetria e restituzione prospettica da architetture*, Roma 1964; oppure U. Saccardi, *Applicazioni della geometria descrittiva*, Firenze 1977.

[11] Per maggiori informazioni sui princìpi teorici della fotogrammetria, sul concetto di parallasse e sulla visione stereoscopica, cfr. M. Fondelli, *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*, Roma-Bari 1992.

[12] Il punto principale P e la distanza focale f costituiscono quello che viene definito l'orientamento interno di un fotogramma. Nelle camere metriche o semimetriche queste due entità sono note e i relativi valori sono documentati dal costruttore della macchina.

[13] Come vedremo più avanti, la parallasse rappresenta la differenza di coordinate rispetto al centro della lastra, tra l'immagine del medesimo punto sulla lastra di destra rispetto a quella di sinistra.

Capitolo quinto

Metodologie per il rilevamento architettonico

Conoscenza dell'opera da rilevare

Rilevare un'opera architettonica significa penetrare nella sua complessa realtà, analizzandone tutti gli aspetti: si tratta quindi di mettere in essere una complessa procedura, che porti alla conoscenza «profonda» di essa, attraverso una puntuale e ragionata analisi. Una prima conoscenza dell'opera deve procedere di pari passo con l'individuazione dei suoi caratteri peculiari e con la finalità del rilevamento; in un certo senso si può dire che occorre sapere prima ciò che si deve disegnare e tener presente che non è il prospetto, la pianta e la sezione, come immagini, a cui si vuol pervenire in prima istanza, quanto la rappresentazione dello spazio fisico, della qualità architettonica e le trasformazioni strutturali avvenute nell'opera stessa.

L'operazione di rilevamento costituisce un elemento importante, ma non l'unico, in un processo che tende a raggiungere una conoscenza completa dell'opera architettonica, comprensione che si sviluppa in varie fasi, le quali possono sinteticamente riassumersi così: a) cognizione dell'opera da rilevare e scelta delle tecniche di rilievo; b) rilevamento; c) rappresentazione grafica; d) lettura dell'opera attraverso il rilievo, l'analisi del manufatto, la documentazione storica, le fonti di archivio, bibliografiche ecc.

Ne consegue che il rilievo architettonico è un'operazione volta a capire l'opera nella sua globalità e nei suoi dettagli; rilevare quindi significa innanzitutto comprendere l'opera che si ha davanti, coglierne tutti i valori, da quelli dimensionali a quelli costruttivi, da quelli formali a quelli culturali.

Il rilievo, nel concetto attuale, non è soltanto un elemento attivo di conoscenza, ma anche criticamente operante: se infatti rilevamento significa conoscenza, occorre che questa non sia limitata a un solo aspetto dell'opera, ma tenga conto di tutte le sue componenti.

In questo senso il rilevamento deve affrontare un dilemma apparentemente insolubile: sappiamo infatti che, per poter rilevare un'opera, occorre ravvisare il suo significato culturale; viceversa per conoscerla occorre effettuarne il rilievo. In realtà questa contraddizione è più apparente che reale. Infatti il rilevatore stabilisce con l'opera da rilevare un «dialogo», volto a permettergli di penetrare gradatamente all'interno di essa. Si viene così a stabilire un intimo colloquio, una specie di domanda e risposta che, al termine delle operazioni, metterà il rilevatore in grado di percepire i caratteri peculiari dell'organismo architettonico rilevato. In altre parole, è durante il processo del rilevamento che esso si apre all'intendimento del rilevatore.

Il primo approccio con l'opera deve consistere in un'accurata ricognizione di essa, nella valutazione dei suoi aspetti dimensionali e formali, nel giusto discernimento dei caratteri che la distinguono ecc.

In questa prima fase sarà utile procurarsi una bibliografia inerente l'edificio in questione, che consenta di acquisire quelle nozioni di carattere storico-critico atte a fornire una prima documentazione. La ricognizione iniziale deve portare a un primo colloquio tra rilevatore e manufatto, in modo che all'operatore sia consentito formarsi un quadro sintetico del lavoro che dovrà svolgere in seguito. Questo primo contatto deve evidenziare tutte le qualità formali dell'opera, qualità che, unite alle finalità del rilievo, indirizzeranno il rilevatore verso la scelta del metodo di studio più idoneo. È dalle qualità formali e dal tipo di informazioni che si vogliono ottenere attraverso il rilievo, che discenderà, come vedremo meglio in seguito, la scelta di un metodo di rilievo rispetto a un altro.

L'approccio iniziale serve anche a programmare tutto il successivo lavoro, sia per quanto concerne il tipo e il numero delle attrezzature, sia per quanto riguarda i tempi di attuazione, il tipo e il numero dei grafici da eseguire. Questo lavoro di programmazione iniziale è molto importante perché, se ben fatto, consente un notevole risparmio di tempo nella fase di acquisizione delle misure e nella loro restituzione grafica.

In questa prima parte delle operazioni possono essere raccolte anche informazioni atte a iniziare le ricerche storiche, attraverso la ricerca di eventuali iscrizioni, lapidi, notizie dirette o indirette. Terminato il primo approccio con la realtà dell'opera, il rilevatore è in grado di fare le prime scelte operative, che riguardano la metodologia da seguire nel programma predisposto.

Scelta del metodo di rilevamento

Nel rilevamento architettonico possono distinguersi, a fine esplicativo, tre distinte metodologie operative: a) rilievo diretto; b) rilievo strumentale; c) rilievo fotogrammetrico ed informatico.

Si definisce *rilevamento diretto*, quello effettuato dall'operatore con l'ausilio di semplici strumenti di misura, quali il metro, le aste metriche telescopiche, il filo a piombo, il distanziometro, le rotelle metriche, la squadra zoppa o misuratore di angoli, gli squadri ecc.

Viene definito, invece, *rilevamento strumentale*, quel rilievo effettuato con l'ausilio di strumenti topografici, ad esempio tacheometri, livelli, distanziometri ecc.

Si definisce, infine, *rilevamento fotogrammetrico e informatico*, quello effettuato con l'ausilio di macchine da ripresa, quali fotocamere o bicamere, e di strumenti detti restitutori, che permettono di estrarre, dai fotogrammi di presa, informazioni atte a tracciare direttamente grafici dell'oggetto rilevato, oppure svolto utilizzando strumenti e programmi informatici.

Nella pratica, i vari sistemi si integrano fra loro in varia misura. Ad esempio, molti rilievi effettuati con il metodo diretto hanno misure rilevate con strumenti topografici, quali tacheometri o teodoliti o stazioni totali. Analogamente, come si vedrà meglio in seguito, il rilevamento fotogrammetrico si avvale spesso del rilievo strumentale, sia per il collegamento delle basi di presa, sia come metodo di controllo. Va anche detto che, spinti da ragioni di mera esperienza professionale, esistono rilevatori che sostengono l'assoluta priorità di un metodo sull'altro, portando a sostegno delle proprie tesi pretestuose affermazioni di maggior precisione ed economicità di un metodo rispetto all'altro, ma è chiaro che un buon rilevatore deve possedere le competenze necessarie per poter impiegare indifferentemente un metodo o l'altro. Ciò è sempre possibile, quando si abbiano le conoscenze teoriche elementari, che stanno alla base di un determinato metodo. Esse permetteranno al rilevatore di ricorrere all'ausilio di uno specialista, per la risoluzione dei problemi più complessi.

In sintesi, le caratteristiche peculiari di impiego di ciascun metodo sono le seguenti:

– *metodo diretto*: viene impiegato nella maggior parte dei rilievi architettonici e si rivela indispensabile in quello delle piante e nelle sezioni di edifici, ove gli altri metodi non possono essere impiegati, se non in particolari casi;

– *metodo strumentale*: si usa in varie circostanze, anche se spesso è considerato come complementare a quello diretto e a quello fotogrammetrico-informatico. Viene impiegato per rilevamenti di precisione, per rilevare andamenti planimetrici di grande estensione e specialmente quando si debbano rilevare punti inaccessibili. Si rivela, inoltre, particolarmente utile nel rilievo urbano, per determinare l'andamento planimetrico e altimetrico delle strade, mentre diviene indispensabile quando si vuole collegare l'opera da rilevare al suo ambito territoriale, vale a dire alla rete topografica nazionale;

– *metodo fotogrammetrico e informatico*: viene impiegato quando si vuole avere una notevole precisione nel rilievo e una grande quantità di informazioni; può essere usato per rilevare i prospetti degli edifici o gli alzati di interni di grandi dimensioni e particolarmente complessi.

Nella versione aerofotogrammetrica, il metodo consente di rilevare le coperture e l'andamento planimetrico, sia di un singolo edificio che di interi centri urbani.

Questo metodo risulta particolarmente utile per rilevare i dissesti statici e il degrado delle strutture murarie, consentendo un rilievo molto dettagliato di tutte le superfici da rilevare.

Da quanto si è detto, risulta evidente che la scelta del metodo con cui operare dipende da due distinti parametri: 1) le

caratteristiche dimensionali e qualitative del soggetto da rilevare; 2) lo scopo per cui si deve effettuare il rilievo.

Rispetto al primo parametro, occorre dire che il metodo diretto può essere utilizzato per tutti i tipi di rilievo; tuttavia, quando l'edificio assume dimensioni notevoli e presenta forme architettoniche molto complesse, risulta molto utile l'integrazione di tale metodo con quello informatico.

Per edifici di dimensioni notevoli e con piante molto articolate, si adopera proficuamente il metodo strumentale, per tracciare poligonali e per rilevare con assoluta precisione le misure planimetriche generali, all'interno delle quali possono poi essere inserite le misure parziali, rilevate direttamente.

Rispetto al secondo parametro, che riguarda la finalità del rilevamento, va previsto che, anche in questo caso, il metodo diretto risolve quasi tutti i problemi, dai rilievi finalizzati all'analisi storica, a quelli per la documentazione, a quelli per gli interventi di restauro. Va detto tuttavia che in alcuni casi il rilievo fotogrammetrico e informatico diventa insostituibile, soprattutto quando esso risulti finalizzato a particolari interventi di restauro: quello della facciata di un edificio molto complesso, infatti, può essere facilitato da un rilievo che, non solo fornisca le forme geometriche con approssimazione millimetrica, ma contenga anche una serie di altre informazioni, con posizione e forma delle lesioni, distacchi di intonaco, parti mancanti di cornici ecc.

IL RILEVAMENTO DIRETTO

Il metodo diretto consiste in due fasi distinte: una detta di campagna, l'altra da effettuare al tavolo da disegno.

Nella prima fase si provvede all'osservazione e alla misurazione dell'opera, nella seconda a rappresentare graficamente l'oggetto rilevato. Potremmo anche definire le due fasi: una critica e di rilievo delle misure, l'altra di rappresentazione o restituzione grafica.

Al fine di semplificare le procedure e di abbreviare le operazioni, occorre seguire un rigoroso ordine, durante lo svolgersi delle varie operazioni. Si consiglia pertanto di seguire il seguente schema con i dovuti adattamenti ai diversi casi di studio e alle diverse circostanze, tenendo presente che un'accurata ricognizione è a monte di tutto:

1. disegno e progetto di rilevamento della pianta del piano terra;
2. prelievo delle misure della pianta del piano terra;
3. disegno e progetto di rilevamento delle piante dei piani superiori (terminando con il piano cantinato e il sottotetto, se esistono);
4. prelievo delle misure delle piante dei piani superiori;
5. elaborato grafico e progetto di rilevamento delle sezioni;
6. prelievo delle misure delle sezioni;
7. elaborato grafico e progetto di rilevamento dei prospetti;
8. prelievo delle misure di prospetti;
9. disegno e progetto del rilevamento dei particolari architettonici;
10. prelievo delle misure dei particolari architettonici;
11. rappresentazione grafica delle piante, delle sezioni, dei prospetti e dei particolari architettonici;
12. altre elaborazioni tematiche.

Lo schema inizia con il rilievo della pianta del piano terra, che rappresenta l'elemento cardine, da cui è facile far discendere, poi, tutti gli altri. Ne consegue che la pianta del piano terra deve essere eseguita e rilevata con tutta la cura possibile, in quanto eventuali errori in questa fase potrebbero influenzare tutto il lavoro successivo. Se la pianta del piano terra è costituita con esattezza, sarà possibile trarre da essa molte informazioni utili per eseguire la pianta degli altri piani, quali quelle inerenti la posizione dei muri portanti, la scala di collegamento, gli assi delle aperture ecc.

Il risultato di un buon rilievo dipende dunque spesso dalla cura con cui è stata rilevata la pianta del piano terra, che potrà fungere anche da elemento di controllo, quando si andranno a rilevare le sezioni e i prospetti. Va ricordato che per pianta di un edificio si intende una sezione orizzontale, effettuata a circa un metro dal pavimento. Il piano di sezione può anche variare rispetto a questa quota, purché ricada sempre in una zona compresa fra la soglia e l'architrave delle finestre: ciò al fine di assicurare, nella rappresentazione, la presenza di tutte le aperture (porte e finestre) che si trovano sul manufatto. La raffigurazione della pianta deve contenere il massimo numero possibile di informazioni. È logico pertanto che, se un edificio ha il davanzale delle finestre piuttosto al-

to (ad esempio m 1,20 rispetto al pavimento), la pianta deve derivare da una sezione posta, ad esempio, a quota m 1,30. In caso contrario si avrebbe una pianta con la sola rappresentazione delle porte e con l'esclusione delle finestre, ricadendo queste al di fuori del piano di sezione. È buona norma indicare, sui prospetti, la traccia del piano di sezione da cui sono state ricavate le piante dei vari piani.

Nella rappresentazione dei rilievi architettonici, salvo casi eccezionali, viene utilizzato il metodo della doppia proiezione ortogonale o metodo di Monge.

Si ricorda che la rappresentazione di una pianta è costituita dalla proiezione del piano sezione su di un piano orizzontale.

Lo schema sopra riportato non evidenzia il rilevamento dell'intorno dell'edificio, che può essere eseguito sia dopo aver effettuato il rilevamento dell'edificio stesso, sia preliminarmente (cfr. *infra*, cap. VI). Occorre subito sottolineare l'importanza che acquistano la planimetria e le sezioni dell'intorno ambientale: l'edificio infatti è in relazione con tutto ciò che lo circonda. Rilevarlo senza alcun riferimento a ciò che lo attornia, significa togliere una parte di informazioni necessarie per una sua adeguata lettura. Al contrario, una o più sezioni d'ambiente, anche schematiche, permettono di comprendere meglio i rapporti proporzionali tra l'edificio da rilevare e quelli circostanti. Si pensi, ad esempio, all'importanza di avere almeno un'idea dell'intorno urbano nel rilevamento di una chiesa o di un edificio monumentale in una città medievale o rinascimentale. Essi infatti non solo sono importanti per se stessi, ma costituiscono poli essenziali nello schema urbanistico: per la convergenza delle strade, per gli slarghi adibiti a particolari funzioni, per le articolazioni spaziali che si vengono a creare. Appare chiaro che l'edificio monumentale non può essere pienamente inteso, ignorando ciò che lo circonda.

Schizzo e progetto di rilevamento delle piante (o eidotipo)

Per poter approntare tutte le informazioni dimensionali di un oggetto, occorre munirsi di uno o più disegni, effettuati dal vero, sui quali poter disporre con ordine tutte le misure che via via si rileveranno. Pertanto il primo grafico, o eidotipo, deve rappresentare l'oggetto da rilevare (nella configurazione prescelta, pianta, sezione ecc.), riproducendone dimensioni e proporzioni con cura e precisione. Se il disegno sarà così realizzato, potrà anche aiutare a evidenziare eventuali grossolani errori di prelievo delle misure. Il concetto teorico sotteso a questi grafici è che essi debbono rendere «discreto» ciò che è continuo, riproducendo, con un numero limitato di segni, il soggetto che rappresentano. La continuità della materia che costituisce un edificio si traduce in un numero finito di punti e di linee, che rappresentano i contorni delle facciate, delle finestre, delle porte, i profili delle cornici ecc. Occorre perciò riprodurre quelle linee e quei punti che servano a rappresentare sinteticamente il soggetto, senza snaturarne l'essenza. Per fare un esempio, potremmo dire che, mentre la fotografia di un edificio riproduce tutti i punti visibili, il disegno di esso riproduce solo alcuni punti, quelli salienti e caratterizzanti. Poiché con il disegno si esegue una sintesi, occorre che questa sia fatta in modo tale da non alterare il soggetto rappresentato.

Occorre ricordare inoltre che l'eidotipo costituisce un elemento fondamentale, nelle operazioni di rilievo con il metodo diretto. Infatti tutte le operazioni effettuate sul luogo del rilievo debbono essere annotate su di esso. Ne consegue che l'eidotipo non va considerato un documento personale del rilevatore, ma deve essere impostato e realizzato con sufficiente chiarezza e contenere, inoltre, una serie di informazioni sia dimensionali che costruttive, sempre sovrabbondanti rispetto alle esigenze del rilievo da compiere. In questa prospettiva i grafici di rilevamento vanno accuratamente conservati e catalogati, unitamente alla restituzione grafica del rilievo stesso. Così facendo sarà possibile, anche a distanza di molto tempo, riesaminare gli elaborati fatti sul posto ed eventualmente trarre da essi una nuova restituzione grafica del rilievo, per eventuali nuove esigenze sopravvenute.

Tutto ciò sarà possibile, se nella stesura dell'eidotipo ci si sarà preoccupati di fornire una ricca documentazione dell'edificio da rilevare. Eventuali informazioni sovrabbondanti rispetto alle finalità del rilievo potranno essere trascurate nel momento in cui si passi dal grafico in oggetto alla restituzione grafica.

Così operando, l'eidotipo acquista un particolare significato di documentazione non provvisoria e di supporto, ma anzi parte integrante della restituzione grafica del manufatto.

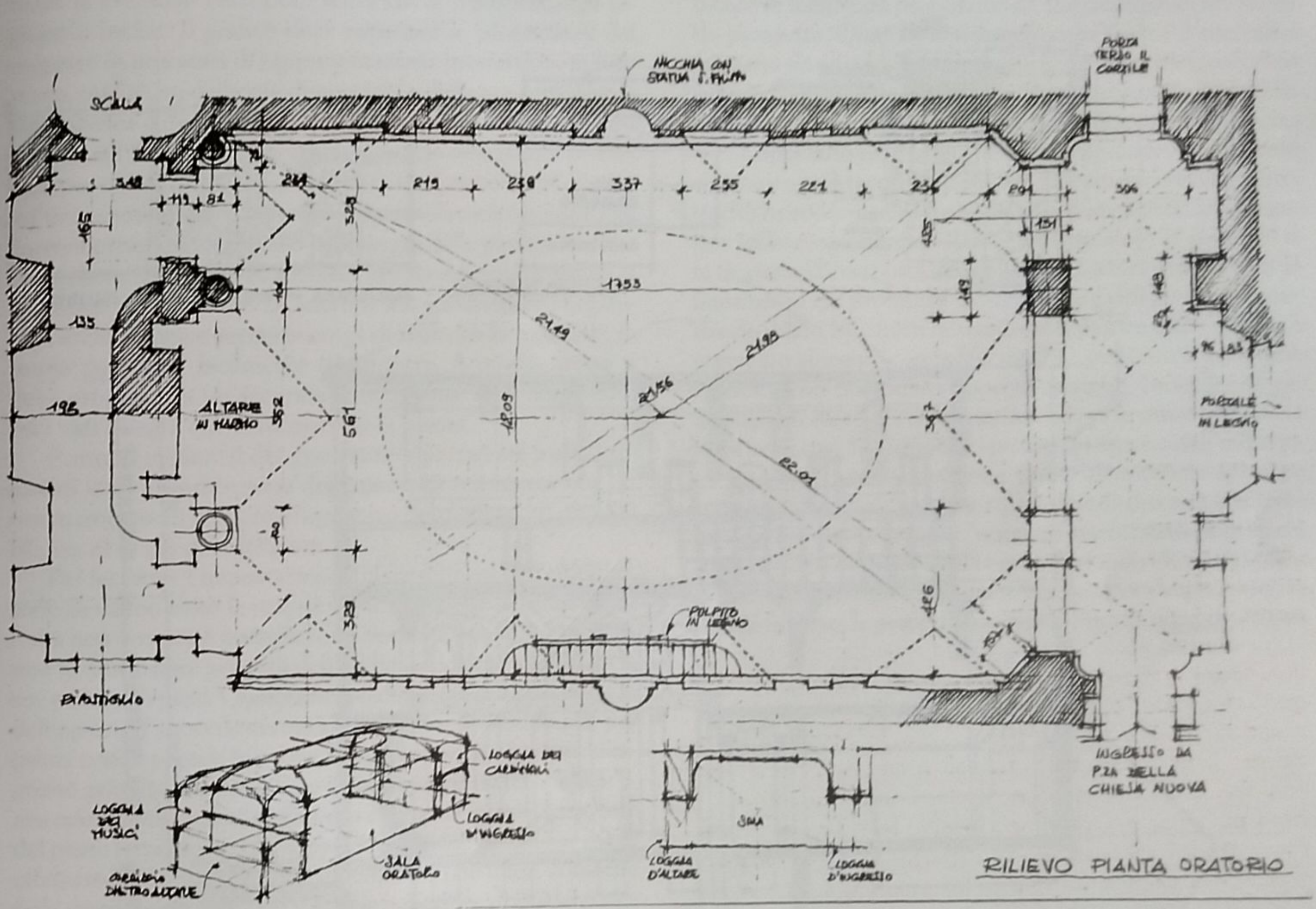


Fig. 1. Eidotipo di studio per il rilevamento planimetrico dell'oratorio dei Filippini in Roma. Disegno E. Chiavoni.

Sarebbe auspicabile che questo concetto fosse acquisito anche dalle pubbliche amministrazioni che commissionano un rilievo, le quali dovrebbero esigere dai professionisti la consegna non solo della rappresentazione grafica finale delle operazioni di rilevamento, ma anche degli elaborati utilizzati per il suo rilievo (figg. 1, 2).

In questa prospettiva l'eidotipo verrebbe ad assumere, nel rilievo diretto, un ruolo simile a quello assunto dalle coppie di stereogrammi nel rilievo fotogrammetrico, con tutto vantaggio dell'informazione.

Per eseguire il disegno della pianta occorre munirsi di un blocco da disegno con supporto rigido, oppure di una tavoletta di paniforte o multistrato, su cui porre il foglio. Si consiglia di usare una matita di media durezza, per poter effet-

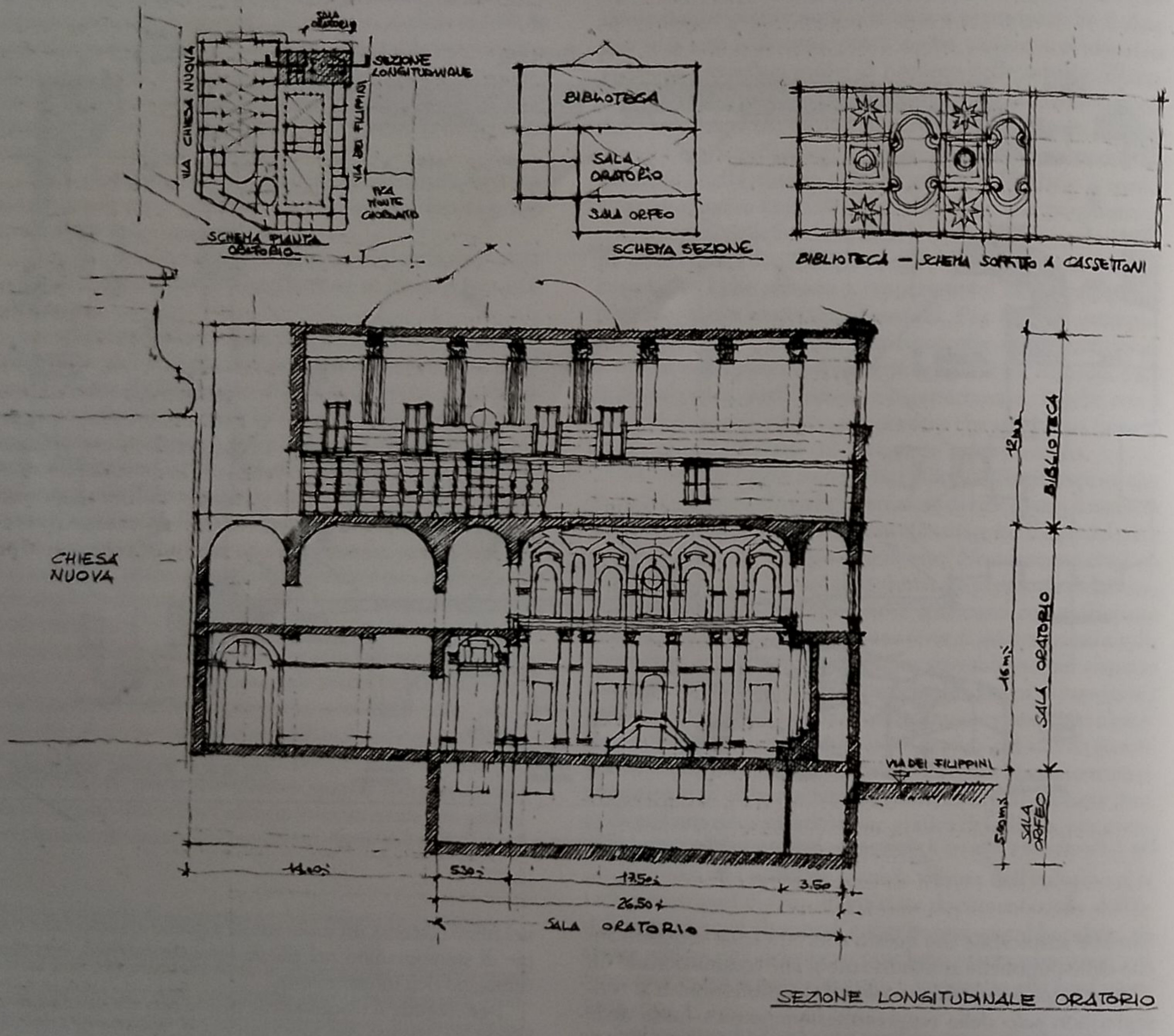


Fig. 2. Studio preparatorio per il rilevamento dell'oratorio dei Filippini in Roma. Schema planimetrico, schema longitudinale della sala, schema del soffitto a cassettoni della biblioteca e sezione longitudinale della sala dell'oratorio. Disegno E. Chiavoni.

tuare le eventuali correzioni senza che il foglio rimanga segnato o inciso. Il grafico deve rispettare le proporzioni del soggetto in una scala di rappresentazione prestabilita, in funzione, tra l'altro, delle sue dimensioni e della sua complessità volumetrica e decorativa. Nel posizionare lo schema grafico iniziale sul foglio occorre valutare le due dimensioni principali, per consentire la rappresentazione di tutto l'edificio con un'unica immagine. Qualora il soggetto sia molto grande, occorrerà programmare due o più disegni della pianta; è necessario allora fare molta attenzione, per scomporre l'edificio in parti ben riconoscibili. Di solito si usa suddividere l'organismo architettonico secondo corpi di fabbrica ben distinti, in modo da poterli facilmente ricomporre. A questo scopo si deve procedere a un'accurata numerazione di collegamento fra i vari disegni che costituiscono la pianta.

Prima di iniziare il disegno vanno riportati sul foglio i seguenti dati: a) indicazione dell'opera; b) sua ubicazione ed orientamento; c) numero progressivo del disegno; d) data del rilievo; e) nome del rilevatore.

Per facilitare l'impostazione e la correttezza dell'eidotipo, sono di valido aiuto le mappe catastali, anche se la loro esattezza non sempre è esemplare. Tuttavia, è possibile trarre da esse le dimensioni generali dell'edificio e le proporzioni tra le sue principali parti. Qualora non si disponga di alcun disegno dell'opera, si procede secondo la seguente metodologia: per prima cosa si prende in esame il prospetto su cui è situato l'ingresso principale dell'edificio e idealmente vi si traccia una linea orizzontale, subito al di sopra del davanzale delle finestre del piano terra, linea che rappresenta il piano di sezione su cui effettuare la pianta. Per ben individuare tale linea, conviene farla quasi coincidere con il lembo superiore di qualche elemento architettonico, come un marcapiano, una cornice, un filare di cortina, una o più soglie di finestre ecc. A questa linea teorico-pratica si farà riferimento per graficizzare lo schema architettonico e per riportare le misure.

Valutata visivamente la lunghezza della facciata AE in corrispondenza della linea ideale, la si riporta, in scala 1:100 o in altra prescelta, sul foglio da disegno, delineando il segmento A'B' (cfr. fig. 3); tracciato il primo lato, si passa al successivo, ricordandosi di estendere anche agli altri prospetti la linea ideale di sezione. Se il lato successivo è ortogonale al primo, basta costruire, sul disegno, un angolo retto e fissare un segmento di lunghezza proporzionale alle dimensioni del secondo prospetto. Quando il prospetto principale e il successivo formano un angolo diverso da quello retto, il rilevatore deve valutare visivamente – o effettuarne una misurazione sommaria – l'ampiezza dell'angolo formato dai due prospetti, in modo da riportarlo sul disegno nella giusta grandezza. Un metodo pratico per tracciare un angolo, valutandolo visivamente, è quello riprodotto nella fig. 4: si fissa sul vertice B' del disegno uno spillo e, mantenendo il lato già disegnato A'B' parallelo alla facciata AB, si sposta il foglio fino a portare lo spillo sull'allineamento del prospetto BC che si vuol disegnare. Traguardando il lato BC, basterà tracciare, a partire dallo spillo, un segmento allineato con la facciata BC, per costruire l'angolo richiesto con una buona approssimazione. Procedendo per analogia, si completa il disegno anche per le rimanenti facciate. Si avrà, così, l'eidotipo del perimetro esterno dell'edificio.

Poiché il piano di sezione prescelto incontra aperture, sporgenze, cornici, occorre riprendere il disegno e iniziare un'operazione di dettaglio. Vengono inseriti su di esso, su ciascun lato dell'edificio, tutti i particolari individuati dal piano di sezione. Pertanto su ciascuno dei prospetti vanno posizionate le finestre, le porte, le sporgenze e quant'altro risulti pre-

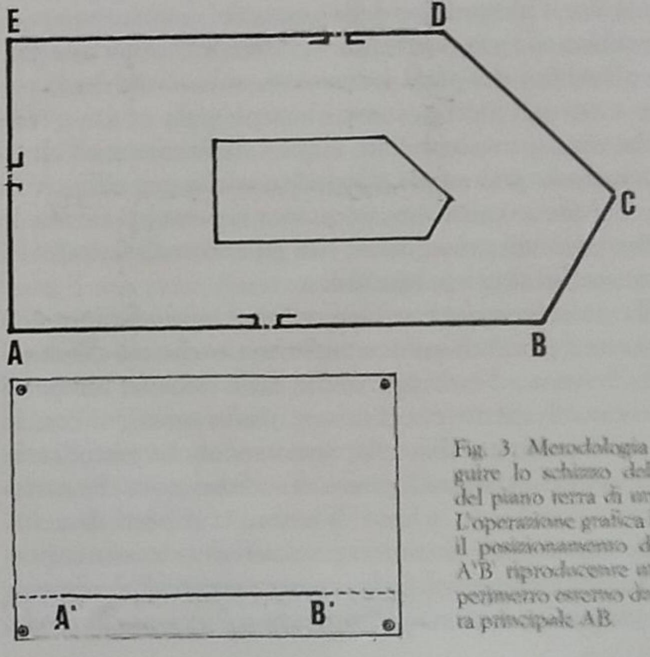


Fig. 3. Metodologia per eseguire lo schizzo della pianta del piano terra di un edificio. L'operazione grafica inizia con il posizionamento della linea A'B' riproducente un lato del perimetro esterno della facciata principale AB.

sente. Qualora alcune parti del prospetto presentino un'articolazione così complessa da rendere difficile la sua rappresentazione sullo schizzo, si deve procedere a redigere un eidotipo di questi particolari, in scala più grande, nel quale potranno trovare esplicazione tutti i dettagli. In questo caso si deve avere molta cura nel collegare il disegno di dettaglio con quello generale, in modo da facilitare la loro restituzione grafica.

Completato il perimetro esterno con tutti i dettagli sopra descritti, occorre procedere alla rappresentazione della parte interna dell'edificio (fig. 5a). Si inizia l'operazione partendo dall'atrio d'ingresso che risulta facilmente collegabile, attraverso la porta esterna, con la facciata già disegnata.

Successivamente, seguendo un percorso che corrisponde a quello di una persona che entri dentro l'edificio, si rappresentano gli altri vani. Nel posizionare i muri interni che delimitano ciascun vano, è di aiuto il perimetro esterno precedentemente tracciato, sul quale risultano già posizionate tutte le aperture. Si completa così lo schizzo con tutte le parti interne, ottenendo con ciò una rappresentazione totale della pianta a piano terra dell'edificio. Per eseguire i grafici delle piante degli altri piani, si procede progressivamente verso l'alto, utilizzando, come elemento di riscontro, la pianta del piano terra. Per edifici molto grandi e complessi, può essere utile eseguire il rilevamento della pianta del piano terra e procedere subito alla sua restituzione grafica, che servirà da guida per gli schizzi dei piani sovrastanti, utilizzando il suo perimetro esterno, i muri portanti, il corpo scala e tutte quelle parti che rimangono inalterate o quasi da un piano all'altro. Questo metodo può essere adoperato anche per redigere lo schizzo del piano cantinato, in quanto si presuppone che le murature portanti proseguano, con gli eventuali aumenti di spessore, anche al piano sottostante.

Nella redazione degli schizzi occorre rappresentare non solo ciò che il piano di sezione taglia, ma anche ciò che sta al di sotto di esso: ad esempio, soglie delle finestre, rampe di scale, eventuali aperture secondarie, pavimentazioni ecc. In alcuni casi è indispensabile rappresentare anche parti di edificio che si trovano sopra il piano di sezione, cosa che avviene quando si redigono schizzi di ambienti coperti da volte. Queste costituiscono elementi strutturali di primaria importanza, di cui è indispensabile la rappresentazione planimetrica, che può essere fatta solo riportando sulla pianta di un determinato ambiente la proiezione a terra della copertura o disegnando un'apposita ipografia. Ai fini grafici, per non rendere il disegno illeggibile, le parti che stanno al di sopra del piano di sezione (come le volte), se rappresentate, vengono evidenziate da linee tratteggiate o, meglio, punteggiate, per distinguerle dalle altre.

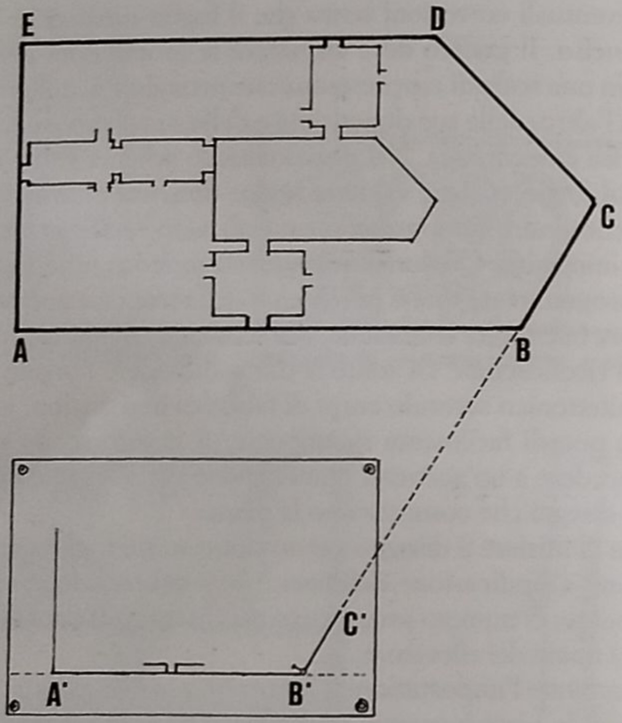
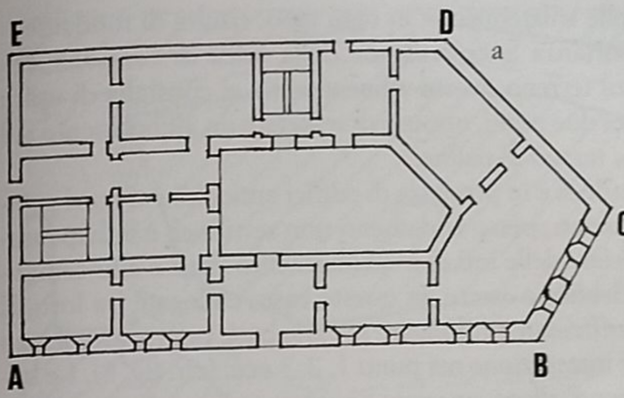
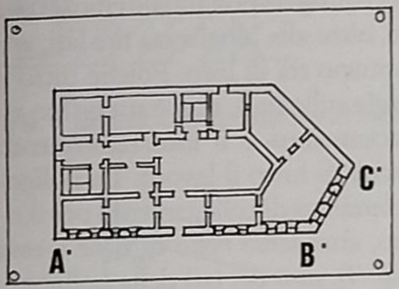


Fig. 4. Valutazione a vista dell'angolo formato tra i lati AB e BC per eseguire lo schizzo della pianta. L'uso di uno spillo, fissato nel punto B' del disegno, consente di traguardare la facciata BC e, mantenendo il foglio del disegno con la linea A'B', precedentemente tracciata, in posizione parallela alla facciata principale, di tracciare la retta B'C'.

Completato l'eidotipo, è indispensabile che su di esso sia riportato il progetto di rilevamento (fig. 5b), vale a dire l'indicazione dei metodi da adottare e le misure da rilevare. È, questa, una fase importante, in quanto consente di razionalizzare il lavoro e di utilizzare al meglio metodologie e strumenti. Il progetto deve prevedere una rete di inquadramento dell'opera, se si tratta di poligonale chiusa o aperta, e il modo con cui questa si collega a uno o più capisaldi della rete nazionale. Inoltre debbono essere indicati i punti di stazione per eventuali intersezioni in avanti, i lati delle trilaterazioni, le porzioni





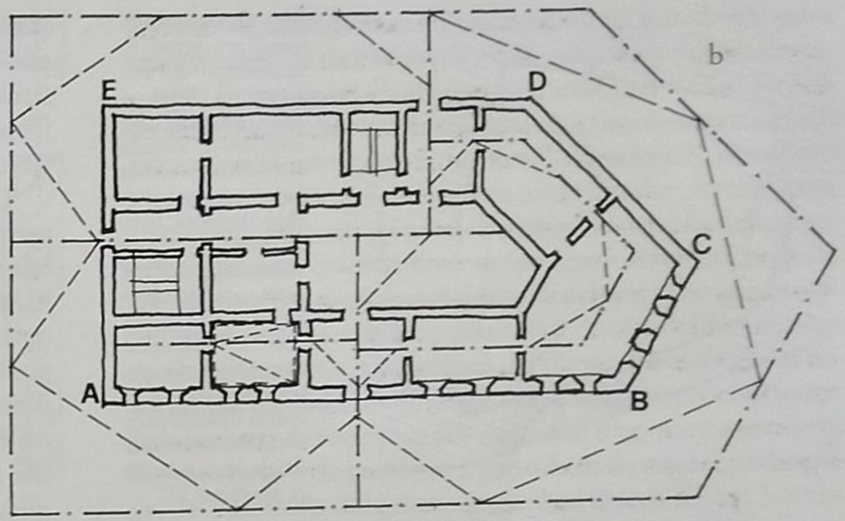


Fig. 5a,b. a) Esecuzione dello schizzo di una pianta; dopo aver completato il perimetro, vengono posizionate tutte le aperture esterne e successivamente i muri interni; b) schema della poligonale principale tracciata con il metodo diretto.

specifiche da rilevarsi con altri metodi, ad esempio quello per ascisse o ordinate. Sul progetto di rilevamento vanno chiaramente indicati i piani di riferimento e tutte le altre informazioni essenziali, affinché esso costituisca una guida durante le operazioni, e in modo tale che ciascuna misura prelevata trovi il suo spazio all'interno dell'eidotipo; ciò può evitare che qualche misura sia dimenticata durante le operazioni di rilevamento, con la conseguenza di dover ritornare sul luogo per integrare le misure mancanti (fig. 6a,b,c).

Rilevamento planimetrico

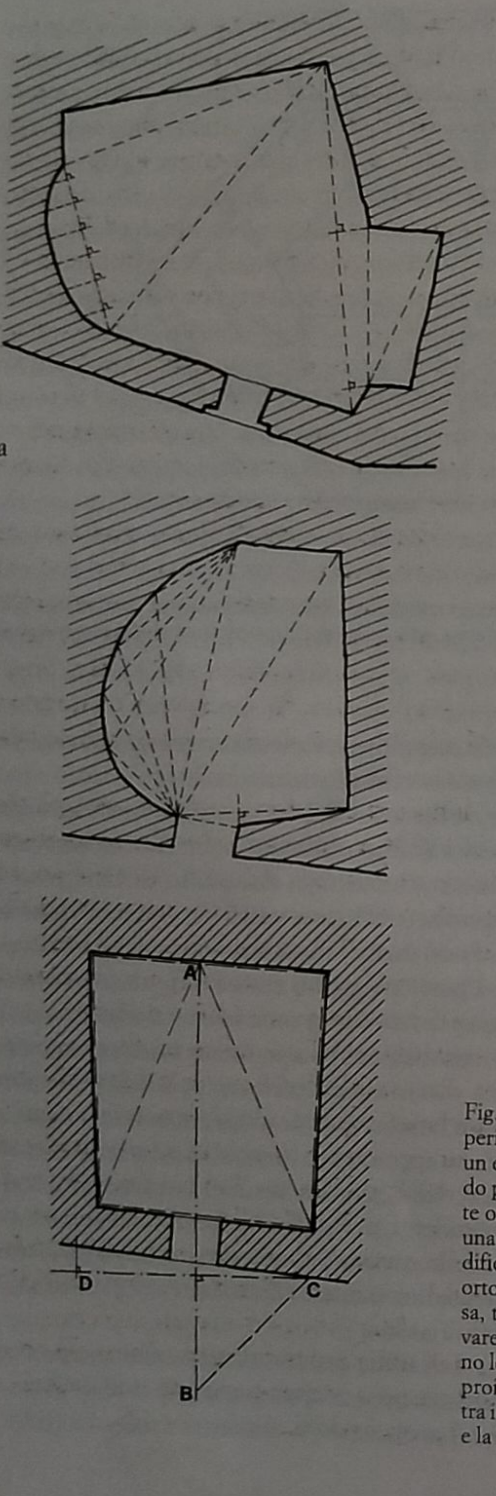
Prima di iniziare le operazioni, il rilevatore deve procurarsi i seguenti strumenti: una coppia di aste metriche (triplometri) del tipo a vite, smontabili, munite di livella incorporata; un nastro metrico (da 20 o 50 ml), o fettuccia di acciaio; una coppia di doppi metri da muratore; un congruo numero di paline; uno squadro da muratore; alcuni fili a piombo; uno squadro agrimensorio graduato; una livella a bolla; una bussola, aste telescopiche, un misuratore di angoli ecc.

Per i rilievi di maggior complessità, questa attrezzatura può essere integrata con altra strumentazione ottica.

I metodi per il rilevamento planimetrico, quali la trilaterazione, l'intersezione, le coordinate polari o irradiamenti e le poligonali, sono stati descritti, dal punto di vista teorico, nell'apposito capitolo (cfr. *supra*, cap. IV); con essi è possibile risolvere tutti i casi pratici di rilevamento planimetrico.

In alcuni casi particolari può essere utile ricorrere anche al metodo *per coordinate ortogonali* (detto anche *per ascisse e ordinate*) che consiste nel fissare una retta (ascissa), detta base, a una certa distanza dall'edificio, possibilmente parallela a uno dei suoi lati. Su questa retta, considerata come asse delle ascisse, si proiettano perpendicolarmente tutti i punti da rilevare della facciata (1, 2, 3), ottenendo, sull'ascissa, i corrispondenti punti 1', 2', 3'. Si rileveranno così tutte le misure delle ascisse (distanze tra punti 1' e 2' ecc.) e tutte le misure delle ordinate (distanze tra i punti 1-1', 2-2' e così via) (fig. 7).

Le misure delle ascisse possono essere rilevate sia con il metodo delle misure progressive, partendo dall'origine nel punto 1', sia con il metodo delle misure parziali, sia con il si-



a b c

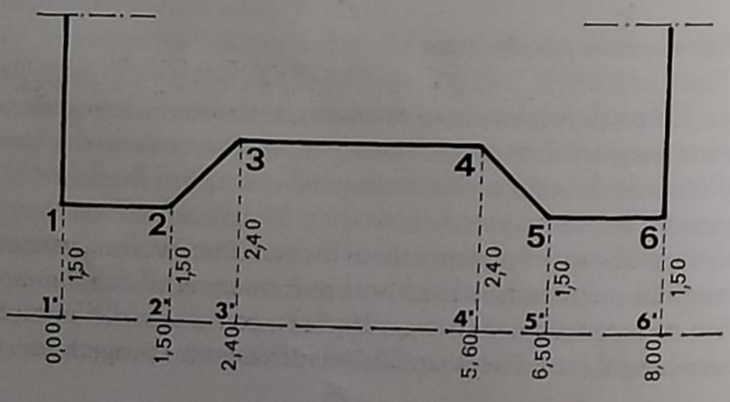
Fig. 6a,b,c. Schemi vari di progetto di rilevamento di ambienti. a) Trilaterazioni principali e secondarie e metodo per ordinate e ascisse per il settore a nicchia curvilinea; b) riduzione a forme triangolari dell'ambiente e trilaterazione del settore curvilineo; c) posizionamenti del profilo planimetrico interno rispetto al fronte esterno (AB, asse longitudinale perpendicolare alla retta CD).

stema delle trilaterazioni; in ogni caso, risulta di fondamentale importanza la costruzione della *linea di base*. Per costruire sul terreno questo allineamento, si consiglia di usare fili tesi fra due punti, oppure di tracciare un allineamento sul terreno a mezzo di paline.

Quando si è in presenza di edifici antichi, i cui muri perimetrali hanno spesso andamenti non rettilinei, è indispensabile tracciare delle reti di inquadramento (basi o allineamenti), che debbono essere, in questo caso, collegate fra loro. È quindi sufficiente prolungare le varie basi, per trovare il loro punto di intersezione nei punti 1, 2, 3 ecc. (cfr. fig. 8). Le basi divengono, allora, una vera e propria poligonale chiusa, per cui è indispensabile rilevare, oltre alla lunghezza dei lati, anche gli angoli che questi formano tra di loro. Poiché tutto il rilievo dell'edificio si appoggia sulle basi, non è superfluo ricordare come il loro «tracciamento» e il loro rilevamento condizionino la buona riuscita di tutto il lavoro. La poligonale esterna diviene anche elemento di collegamento per il rilievo all'interno dell'edificio, attraverso rette di base a essa collegate. In questo caso (fig. 9), uno dei lati della poligonale chiusa contiene un punto (5), dal quale si traccia un allineamento che penetra all'interno dell'edificio stesso (5-6).

Attraverso questo collegamento, tutta le rete esterna all'edificio è ben collegata alla rete interna. Le rette di base, o fondamentali, possono costituire, in alcuni casi, anche poligonali aperte. Si consiglia però di limitare questo uso poiché, come si vedrà in seguito, è più facile eliminare gli errori usando le poligonali chiuse che non quelle aperte. Le poligonali, o reti di inquadramento, possono essere rilevate sia con il metodo diretto che con l'impiego di strumenti topografici che, come è noto, consentono una precisione più elevata.

Fig. 7. Rilevamento del perimetro esterno di un edificio con il metodo per ascisse e ordinate ortogonali. Tracciata una base esterna all'edificio si proiettano, ortogonalmente ad essa, tutti i punti da rilevare, quindi si misurano le distanze dei punti proiettati e le distanze tra i punti della facciata e la loro proiezione.



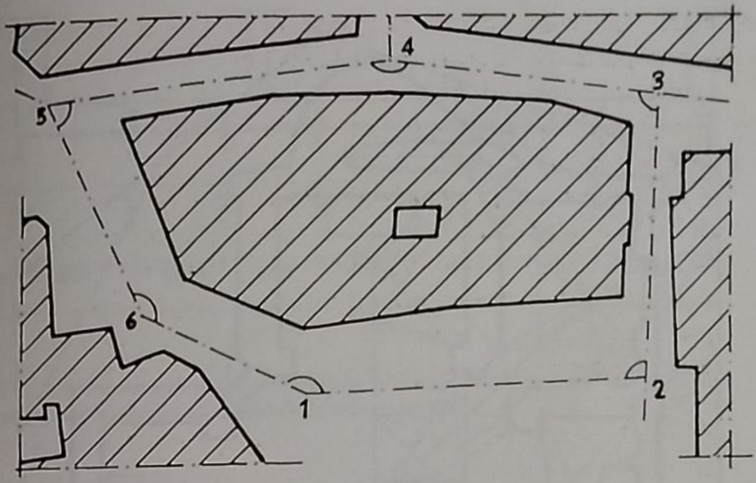


Fig. 8. Esempio di poligonale rete di inquadramento esterna per il rilevamento di un edificio.

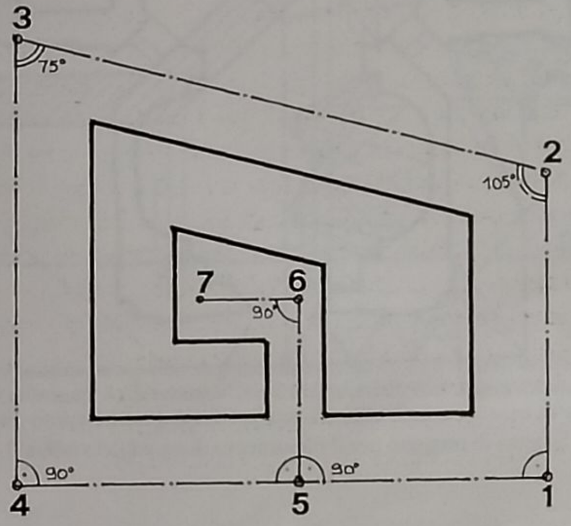


Fig. 9. Tracciamento di una base di appoggio per collegare il rilevamento del perimetro esterno a quello dell'interno. Le basi 5-6 e 6-7 consentono di collegare gli spazi interni alla poligonale esterna 1, 2, 3, 4 attraverso il punto in comune 5.

Appoggiandosi alle rette di inquadramento, il rilevamento delle altre parti dell'edificio può essere fatto con il metodo della trilaterazione (figg. 10, 11) o con quello dell'intersezione in avanti. Nella fig. 12 è evidenziato un progetto di rilevamento planimetrico, in cui risultano la rete di inquadramento e tutte le metodologie per il rilevamento complessivo.

Per l'esecuzione di un buon rilevamento, occorre che il rilevatore sia coadiuvato da due aiutanti, i quali materialmente effettuano le misurazioni, mentre il rilevatore le riporta sui grafici. Le misure possono essere prese con due diverse tecniche: quella delle misure parziali successive e quella delle misure progressive. Quest'ultima, come si può osservare nella fig. 13, consiste nel riferire a un punto di origine tutte le successive misurazioni: pertanto i punti 2, 3, 4, 5 sono definiti con una misura che ne indica la distanza dal punto di origine A. La misurazione parziale, molto usata, consiste, invece, nel determinare la distanza reciproca dei vari punti. Per quanto concerne la precisione, è da preferire il metodo delle misure progressive, dal momento che è meno soggetto a errori.

Nella fig. 13 è evidenziata, oltre alle misure parziali, anche la misura complessiva della distanza fra i punti A e B; la sommatoria delle distanze parziali deve coincidere con la misura totale. In una prima fase, si procede, da sinistra verso destra (del disegno), con le misure parziali; quindi si ritorna al punto di partenza con la misura complessiva. Con questo sistema sono evitati gli errori più gravi e il metodo delle misure parziali diviene accettabile.

Nel prelievo di misure orizzontali occorre usare gli strumenti di misura con molta cura, se non si vogliono commettere errori dovuti al cattivo uso dei medesimi. Ad esempio, adoperando il doppio decametro, occorre che il nastro metallico sia disposto in modo perfettamente orizzontale e che ai suoi estremi sia esercitata una discreta trazione, per evitare la curva naturale (catenaria), dovuta al peso proprio del nastro.

Per quanto riguarda gli edifici, ad esempio, quando non si è certi dell'orizzontalità dei pavimenti occorre riportare, sulle pareti del piano di calpestio che si deve rilevare, un piano orizzontale, cui rapportare tutte le misurazioni planimetriche. Questo piano di riferimento immaginario, individuato sulle strutture principali dell'edificio con piccoli segni di controllo, deve essere utilizzato anche per riferire le misure altimetriche positive e negative (cfr. il paragrafo sul rilevamento delle sezioni) delle varie parti architettoniche.

Le fondamentali utilizzate per il rilevamento devono essere riportate sul disegno preparatorio con accuratezza, seguendo i rapporti proporzionali.

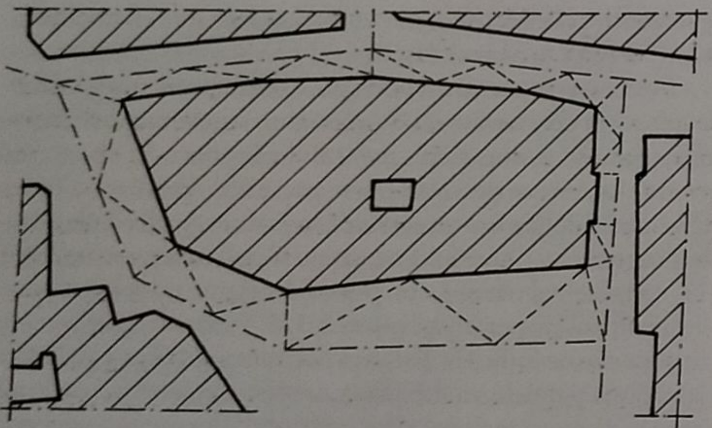


Fig. 10. Schema della poligonale esterna e delle reti di raffittamento per il rilevamento di un edificio.

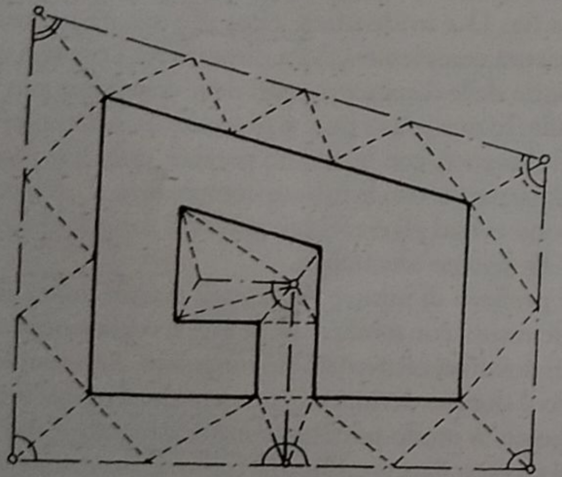


Fig. 11. Schema di progetto di rilevamento planimetrico del perimetro esterno e del cortile.

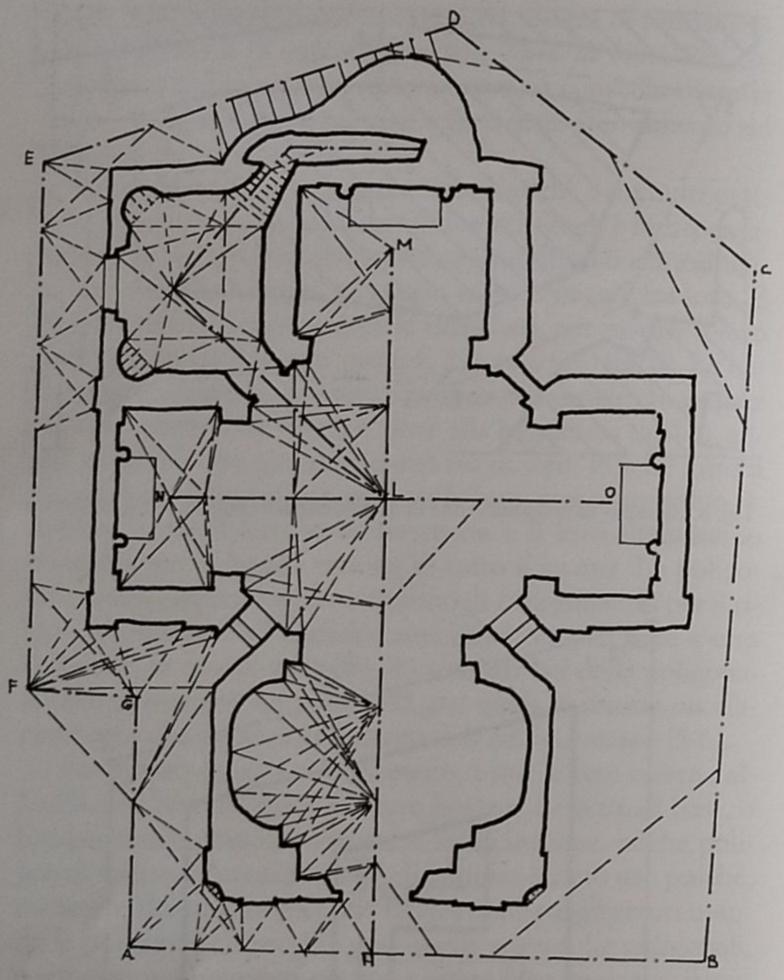


Fig. 12. Schema di progetto per il rilevamento di un edificio isolato.

Per rilevare le misure col metodo delle ascisse e delle ordinate, si deve procedere, invece, nel modo seguente: si fissa sulla fondamentale il punto di origine, dopo di che si proiettano i punti da rilevare perpendicolarmente sulla retta fondamentale (fig. 14). Per effettuare la proiezione di questi punti sulla fondamentale, occorre accertarsi che essa avvenga perpendicolarmente; pertanto, la retta proiettante e la fondamentale debbono formare un angolo retto. La perpendicolarità può essere assicurata con l'uso di una semplice squadra da muratore o di uno squadro agrimensorio o a riflessione. Operando con la squadra, si fa scorrere un lato di questa lungo la fondamentale, finché l'altro lato della squadra non sia allineato con il punto di cui si vuole ottenere la perpendicolare. Trovata la posizione, si segna sulla fondamentale il punto a contatto con il vertice della squadra; se il punto da proiettare è distante e il lato della squadra non è sufficiente, si può appoggiare, al lato di essa, un regolo, fino a farlo giungere alla distanza necessaria. Operando con uno squadro

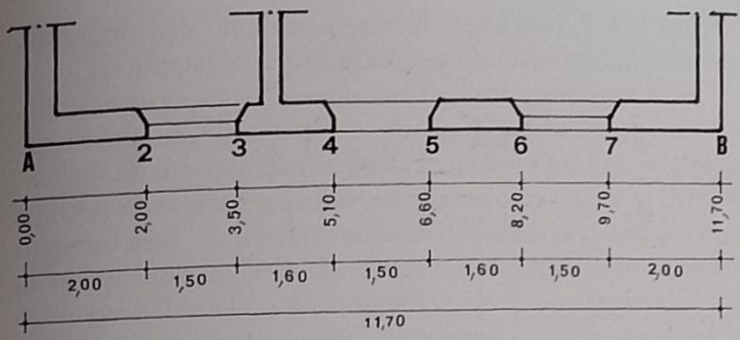


Fig. 13. Esempio di prelievo di misure planimetriche con il metodo delle misure progressive e con quello delle misure parziali.

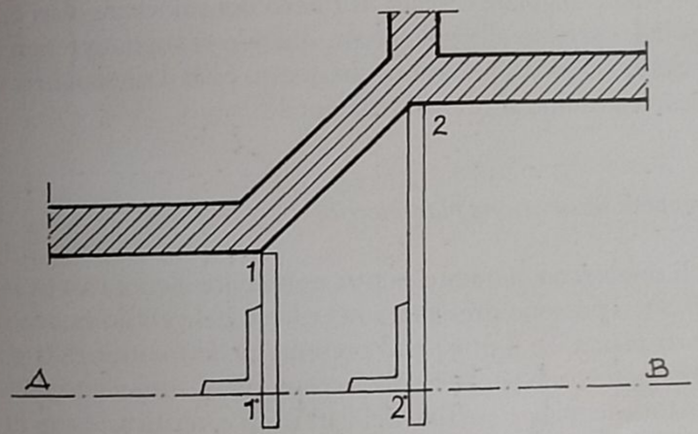


Fig. 14. Proiezione ortogonale di punti di un perimetro esterno su una base prefissata per effettuare il rilevamento con il metodo delle ascisse e ordinate. I punti 1 e 2 sono proiettati nei punti l' e 2' con l'ausilio di uno squadro da muratore e di un regolo.

agrimensorio, o a riflessione, lo si sposta lungo la fondamentale, fino a che nelle sue due feritoie ortogonali non si veda contemporaneamente l'allineamento della fondamentale e il punto da proiettare. Una volta raggiunta la posizione di ortogonalità, questa viene segnata sulla fondamentale, abbassando il filo che si trova sotto lo squadro. Trovati tutti i punti sulla fondamentale, è possibile procedere al rilievo delle ascisse, partendo dal punto zero, o per misure parziali, o meglio per misure progressive. Misurando la distanza fra i punti prescelti sull'edificio e quelli proiettati sulla fondamentale, si ottengono tutte le ordinate.

Occorre adesso esaminare come si esegua il rilievo degli angoli. Ove sia possibile, conviene che l'ampiezza dell'angolo sia rilevata a mezzo di misure lineari, piuttosto che attraverso il valore angolare espresso in gradi, soprattutto al fine di rendere più agevole la restituzione grafica. Chi ha una certa esperienza di disegno, sa quali difficoltà si incontrino nel rappresentare un angolo attraverso il valore angolare, sia pure con l'ausilio di un goniometro.

Per rilevare un angolo concavo (cfr. fig. 15), si procede staccando, sui lati di esso, due lunghezze di uguale valore, ad esempio 2 m, a partire dallo spigolo S. Si ottengono così due punti, 1 e 2, la cui distanza fornisce la misura del terzo lato di un triangolo. Si ha, in tal modo, un sistema chiuso di tre misure, che consente di rappresentare l'angolo in esame.

Per il rilevamento dell'angolo convesso si procede in modo analogo: si prolunga uno dei due lati dell'angolo, a partire dallo spigolo S; si staccano, poi, due segmenti, uno sul lato dell'angolo, l'altro sul suo prolungamento, ottenendo così due punti, 1 e 2, la cui distanza fornisce il terzo lato del triangolo (fig. 16). Come si può osservare, la misurazione dell'angolo attraverso i procedimenti appena illustrati è stata ricondotta a una semplice trilaterazione.

Durante le operazioni di rilievo può sorgere il dubbio se un determinato angolo sia retto o meno. Un modo pratico e rapido per verificare ciò, consiste nel costruire uno squadro di buone dimensioni, utilizzando un doppio decametro. Si costruisce un triangolo, avente i due cateti rispettivamente di 3 e 4 m, e l'ipotenusa di 5 m. Come è noto, per il teorema di Pitagora, un triangolo avente queste dimensioni è retto. Nella fig. 17 è rappresentato il procedimento, che consiste nel portare l'indice dei tre metri della fettuccia in corrispondenza dello spigolo S dell'angolo. Distendendo la fettuccia, si dispone lo zero sul punto 1, mentre continuando sull'altro lato, si ha il valore di 7 m (3 m + 4 m) in corrispondenza del punto 2. A partire da questo, tenendo la fettuccia ben fissa al valore 7 m, si fa in modo che la distanza 1-2 raggiunga il valore 12 m (3 + 4 + 5 m): se il triangolo così realizzato ha i due cateti paralleli alle due pareti, significa che l'angolo tra di esse è retto.

Lo squadro effettuato con la rotella metrica, adoperando

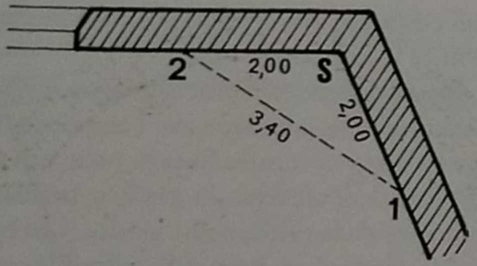


Fig. 15. Misurazione dell'ampiezza di un «angolo concavo». Il valore dell'angolo è determinato con una semplice trilaterazione, fissando a piacere, ma naturalmente su un unico piano orizzontale, due punti, 1 e 2, sulla parete e misurando, successivamente, i lati del triangolo.

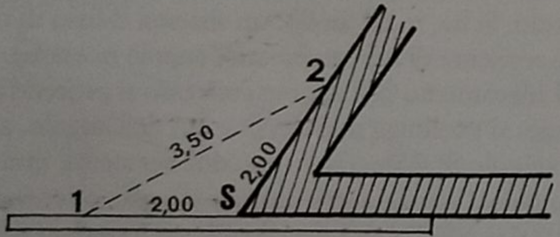


Fig. 16. Misurazione dell'ampiezza di un «angolo convesso». Il valore dell'angolo è ottenuto per sottrazione, dall'angolo di 180°, del valore di quello in S (da leggere graficamente), oppure per graficizzazione dell'angolo concavo costruito come esemplificato nello schema. I punti 1, 2 ed S debbono stare su un piano orizzontale.

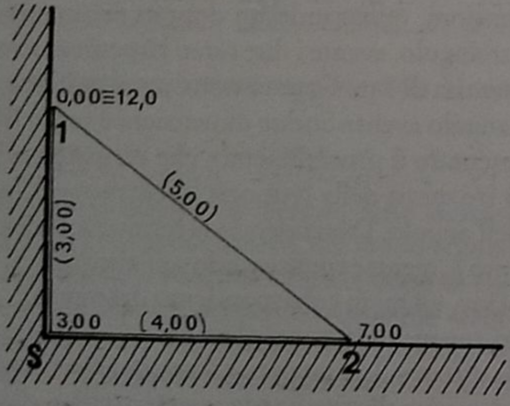


Fig. 17. Impiego di un doppio decametro (fettuccia o rotella metrica) per controllare se un angolo è retto, utilizzando il principio del triangolo rettangolo avente i lati di m 3, 4, 5.

i valori 3, 4, 5, può essere utilizzato in molte altre occasioni, essendo questo un metodo rapido e facile da applicare.

Se si vogliono rilevare i valori angolari espressi in gradi, occorre procurarsi uno squadro agrimensorio, munito di cerchio graduato per la lettura degli angoli, oppure un tacheometro. In alcuni casi può essere utilizzato anche un livello a cannocchiale, se dotato di cerchio orizzontale. Lo strumento viene posto in stazione sul vertice da rilevare, dopo di che lo si fa ruotare fino a farlo collimare con un lato dell'angolo, e si legge sul cerchio orizzontale il valore corrispondente; si fa ruotare, quindi, lo strumento fino a farlo collimare con il secondo lato dell'angolo e si effettua una nuova lettura del valore angolare; la differenza fra le due letture effettuate fornisce il valore angolare cercato. Il rilievo dei valori angolari è, di solito, riservato alla poligonale, quando si voglia ottenere un elevato grado di precisione. In questo caso il rilievo diretto lascia il campo al rilievo strumentale.

Esempi di misurazione planimetrica

È opportuno, a questo punto, esaminare alcuni casi pratici, che si possono presentare nel rilievo del profilo esterno di una pianta. Se il prospetto presenta delle rientranze (fig. 18) e queste sono parallele alla facciata AB, è sufficiente rilevare tutte le misure parziali dei vari tratti e verificarle con la misurazione totale del lato AB. Per le rientranze, si misurano i valori di aggetto e si riportano direttamente sul grafico, con scrittura perpendicolare alle altre misure longitudinali. Se le rientranze o gli aggetti non dovessero essere paralleli al lato AB, non è più possibile prendere le sole misure di profondità riferite al prospetto, ma occorre riferirle, per mezzo di una trilaterazione, alla fondamentale.

Dovendo rilevare una nicchia di notevoli dimensioni, si divide il suo perimetro (cfr. fig. 19), in un certo numero di parti. Ciascun punto viene individuato da un triangolo, che ha per base i punti AB, scelti a piacere sulla fondamentale. Nel caso di una nicchia di piccole dimensioni (cfr. fig. 20), è sufficiente rilevare un solo punto interno, appoggiando la trilaterazione ai punti 1 e 2 della nicchia stessa.

Quando la facciata è dotata di colonne o sporgenze semicircolari (cfr. fig. 21), si procede nel modo seguente: si appog-

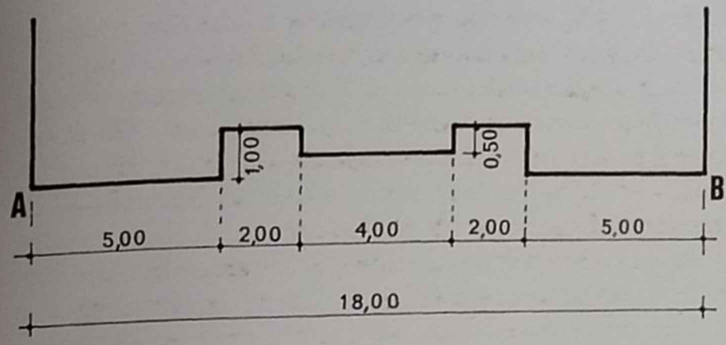


Fig. 18. Rilevamento planimetrico di un edificio con facciata «articolata», con il metodo delle misure parziali.

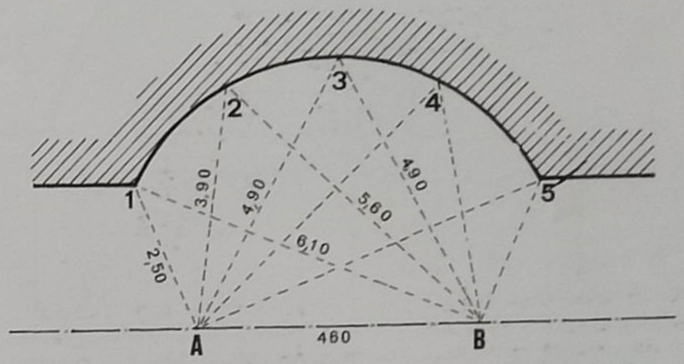


Fig. 19. Rilevamento planimetrico di una rientranza di grandi dimensioni, utilizzando il metodo della trilaterazione appoggiata a una base esterna AB.

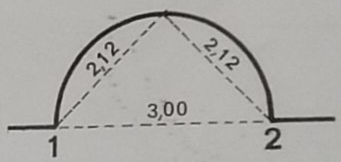


Fig. 20. Rilevamento planimetrico di una nicchia semicircolare di modeste dimensioni, utilizzando una sola trilaterazione con base nei punti 1 e 2.

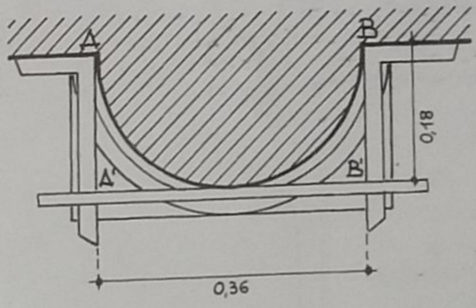


Fig. 21. Misurazione di una semicolonna, addossata a una parete, mediante l'ausilio di un regolo e di due squadri da muratore per determinarne l'aggetto e la larghezza.

gia sulla semicolonna un regolo e lo si dispone parallelamente alla facciata. La distanza fra il regolo e la facciata rappresenta l'aggetto della semicolonna. Dai due estremi della colonna, con una squadra, si proiettano sul regolo i punti A e B e si ottengono i punti A' e B'; la distanza fra i due punti rappresenta il diametro della semicolonna. Per il rilievo delle colonne, si può utilizzare un *diametrometro* (per la misura diretta del diametro) o una semplice fettuccia metrica e misurare la loro circonferenza: il diametro si ottiene dividendo la circonferenza per il numero fisso ($\pi = 3{,}14$). Quando la colonna risulti rastremata, va ripetuta l'operazione di rilievo della circonferenza, per avere i vari diametri. Quando si esegue il rilievo delle colonne, va posta molta cura nel posizionare planimetricamente il loro basamento; essendo, di solito, questo un poligono regolare, può essere facilmente collegato al lato della facciata e alla fondamentale per mezzo dei procedimenti già visti. Se il basamento è posizionato con cura, non occorrono altri collegamenti, dal momento che la colonna, salvo casi eccezionali, è sempre posta al centro del basamento. Nel completare il rilievo del perimetro esterno della pianta, si devono posizionare con molta cura tutte le aperture, quali porte e finestre, che permetteranno di collegare successivamente il rilievo esterno con quello interno. Di solito, è sufficiente fissare la posizione delle due spallette di ciascuna apertura, ma in casi particolari va rilevato anche l'asse delle medesime.

Non sarà mai troppa l'attenzione posta nel rilievo delle aperture del piano terra, dal momento che, come si è già detto, a esse va collegato il rilievo dei piani sovrastanti e quello dei piani interni. Completato il rilevamento del profilo esterno, si passa all'interno, avendo cura di collegare le due reti di misura. Il collegamento viene effettuato attraverso un'apertura, possibilmente il portone di ingresso o una finestra.

Nei casi più complessi, quale è quello illustrato nella fig. 11, si costruisce una fondamentale, o base, che, staccandosi da un punto della base esterna, penetra all'interno dell'edifi-

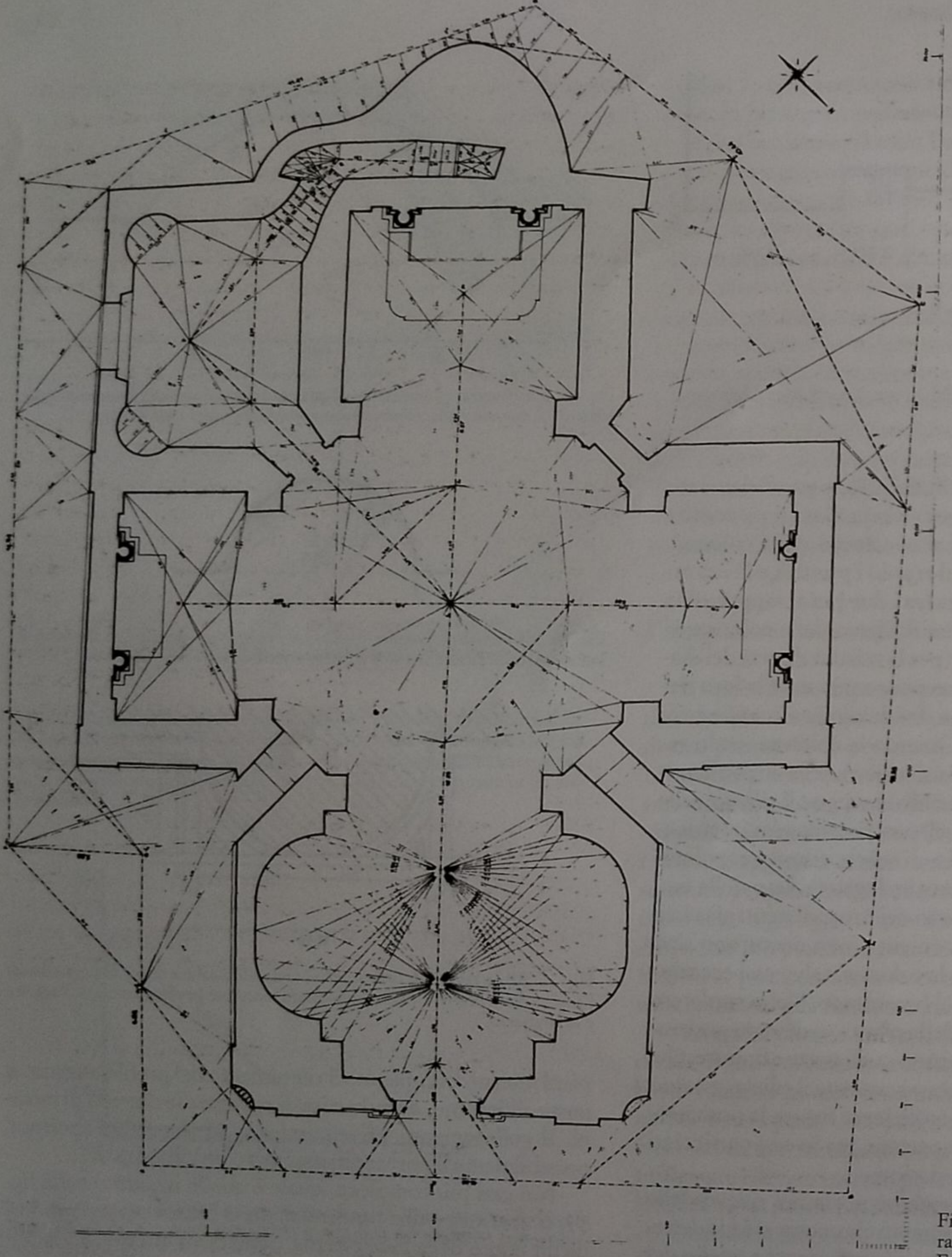


Fig. 22. Rilevamento planimetrico generale di un edificio isolato. Rilevamento E. Boaga, A. De Carlo.

cio. Ovviamente, il collegamento fra la base esterna e quella interna deve essere ben individuato dal loro punto di intersezione, come pure dovrà essere valutato il valore dell'angolo che esse formano. Alla base interna vanno appoggiate tutte le misure da rilevare, creando, se necessario, ulteriori fondamentali interne, sempre collegate. Il posizionamento planimetrico delle basi interne è suggerito dal susseguirsi degli ambienti di disimpegno, quali androni, cortili, scale, pianerottoli e corridoi, in modo che possa comprenderli tutti.

Nel prelievo delle misure interne, si usa la stessa procedura adoperata per l'esterno: anche in questo caso, il metodo più usato è quello della trilaterazione, riservando il metodo delle ascisse e delle ordinate a casi particolari (fig. 22). La determinazione dello spessore dei muri interni è una delle operazioni più frequenti, che richiede particolare diligenza e l'ausilio di alcuni strumenti accessori, quali regoli, squadre ecc.

Per rilevare lo spessore di un muro esterno (fig. 23), si utilizzano due regoli: uno viene poggiato sul lato interno dei muri e l'altro sul lato esterno, a ridosso delle due cornici che riquadrano la finestra. La distanza fra i due regoli (a) fornisce la misura complessiva dello spessore del muro e della cornice. Lo spessore del muro (s) si ottiene sottraendo allo spessore complessivo (a) l'aggetto della cornice (b). Qualora la finestra sia priva di cornici esterne, lo spessore del muro (s) corrisponde alla distanza intercorrente tra i due regoli. Molto spesso, si presenta la necessità di conoscere lo spessore del muro fra due ambienti contigui. Questo problema è di facile soluzione, se il muro in questione presenta delle aperture: si procederà, infatti, nel modo in cui si è operato per determinare lo spessore del muro esterno.

Se il muro non presenta aperture, si procede allora, alla determinazione dello spessore con un metodo indiretto (fig. 24). Se i due ambienti di cui il muro costituisce il divisorio sono muniti di finestra, si appoggiano due regoli alle mazzette contigue di due finestre, accertandosi che essi siano perfettamente ortogonali rispetto alla parete esterna; quindi, si misura la distanza fra i due regoli (c), esterna al muro perimetrale; successivamente si misurano le distanze d e d', intercorrenti tra i regoli e la parete di cui si vuol conoscere lo spessore (x), che viene determinato sottraendo dalla misura c le due misure d e d' $[x = c - (d + d')]$.

Analoga procedura si può seguire per le porte di accesso ai due locali. Nel caso di edifici antichi, si consiglia di ripetere l'operazione, sia attraverso la finestra, che attraverso la porta, poiché il muro potrebbe avere uno spessore variabile, che solo la doppia verifica può far emergere. Tutti gli ambienti che hanno aperture dirette verso l'esterno, si possono rilevare e collegare con esso attraverso lo spessore dei muri: infatti, una volta determinato lo spessore del muro esterno e posizionata l'apertura, il vano interno risulta collegato, attraverso la finestra, alla rete esterna. Pertanto, per questi vani, è sufficiente rilevare le misure delle quattro pareti, più una diagonale, per aver completato il posizionamento del perimetro interno.

Il problema è più complesso per quegli ambienti che non presentano aperture verso l'esterno, per i quali occorre ricorrere a una fondamentale di supporto. La fig. 25 esemplifica una serie di vani senza aperture esterne: la fondamentale li collega tutti, attraverso le porte di comunicazione, ed è allacciata alla fondamentale esterna. Con delle semplici trilaterazioni appoggiate alla fondamentale, è possibile dunque collegare ambienti interni di questo tipo all'esterno; anche per quelli sprovvisti di aperture verso l'esterno si può fare a meno della fondamentale, purché essi siano collegati tra di loro attraverso le porte: in tal caso, si rilevano gli spessori dei muri dei vari ambienti e, infine, per il collegamento con l'esterno, si fa capo a un vano a diretto contatto con la fondamentale esterna. Occorre inoltre che, insieme alle misure generali dell'ambiente, quali lati e diagonali, si rilevino anche le posizioni delle spallette delle porte, rispetto ai lati su cui si aprono.

Per effettuare il rilievo di dettaglio in un ambiente interno, si procede per misure parziali progressive e, onde non dimenticare qualche misura, è consigliabile prendere in esame le varie pareti della stanza, seguendo un ordine preciso, iniziando ad esempio dalla porta d'ingresso della stanza e proseguendo

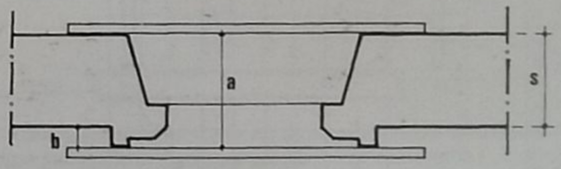
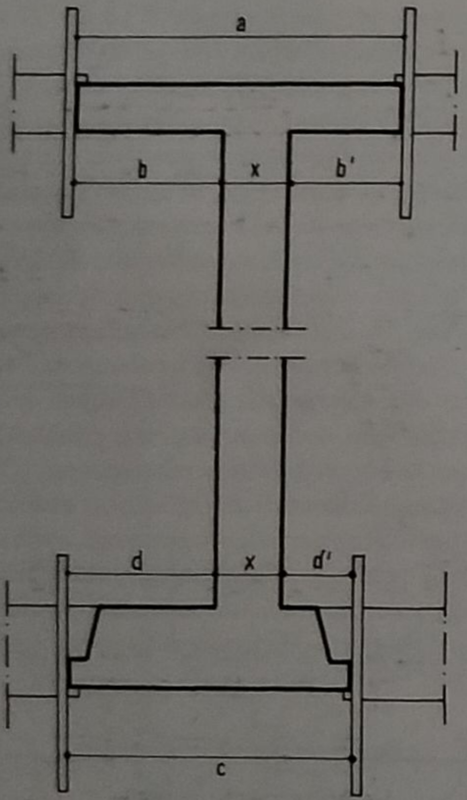


Fig. 23. Rilevamento dello spessore «s» di un muro perimetrale, utilizzando due regoli in corrispondenza di una finestra. Lo spessore «s» viene determinato quale differenza fra la distanza «a» e l'aggetto «b» della cornice esterna.

in senso rotatorio, da sinistra verso destra. Tutte le misure incontrate in questo percorso vanno riportate sul disegno, così come devono essere annotati eventuali particolari architettonici (fig. 26). Quando su una parete si presentano delle aperture o degli aggetti, oltre alle misure parziali dei singoli tratti, è indispensabile riportare la misura complessiva della parete. Se poi una parete presenta un andamento non rettilineo (concavo o convesso), conviene appoggiare a essa una corda e rilevare l'ambiente rispetto a questa corda ausiliaria (fig. 27). Successivamente, per ascisse e ordinate si può posizionare la parete anomala rispetto a questa corda, dandone una rappresentazione fedele.

Nel caso in cui l'ambiente presenti una colonna o un pilastro al centro, si procede come nella fig. 28. Non potendosi utilizzare la diagonale, occorre rilevare l'ambiente con un maggior numero di trilaterazioni. Nella figura in esame, si è utilizzato lo spigolo interno di un finestra e con due diagonali si sono costruiti tre triangoli, che definiscono il perimetro della stanza. Anche il pilastro all'interno della stanza ha bisogno di una sua trilaterazione, per essere esattamente ubicato: si utilizza pertanto come base uno dei lati della stanza.

Dovendosi rilevare spigoli convessi con angolo tagliato o arrotondato, come quelli esemplificati nella fig. 29, la prima operazione da fare è quella di appoggiare ai lati due regoli e di



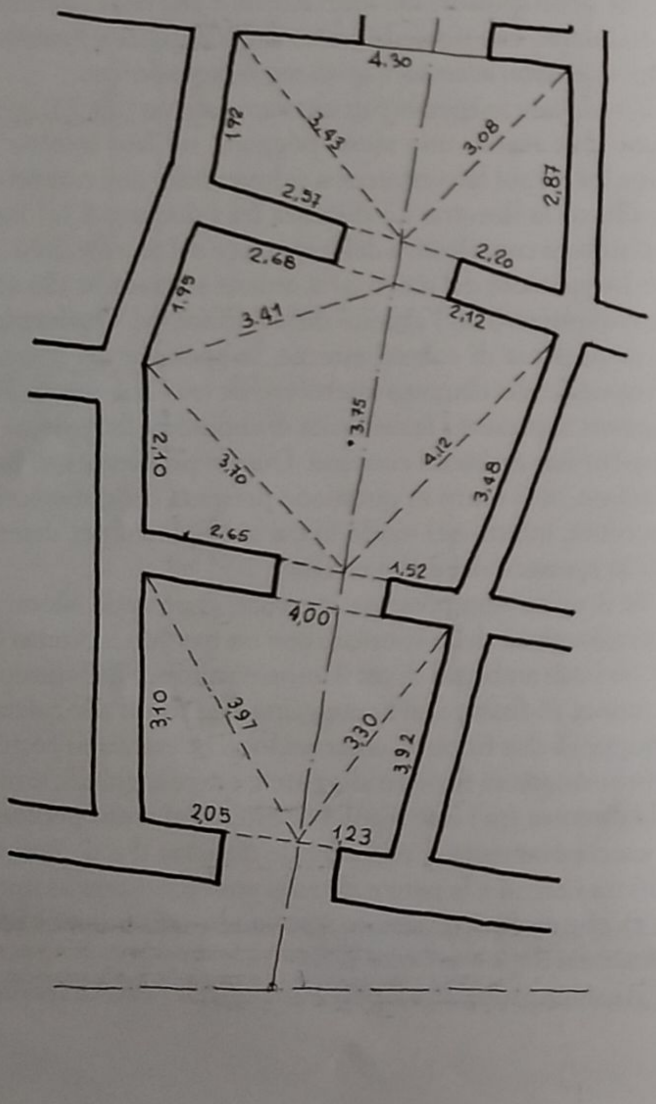


Fig. 24. Misurazione dello spessore di un muro interno nel quale non sono ricavate aperture. Lo spessore «x» è determinato utilizzando due regoli in prossimità di una finestra o di una porta, rilevando la distanza complessiva «a» e «c» tra essi e le distanze b e b', d e d' rispettivamente.

Fig. 25. Rilevamento di ambienti interni. La misurazione si appoggia a una base interna che collega i vari ambienti e utilizza il metodo della trilaterazione.

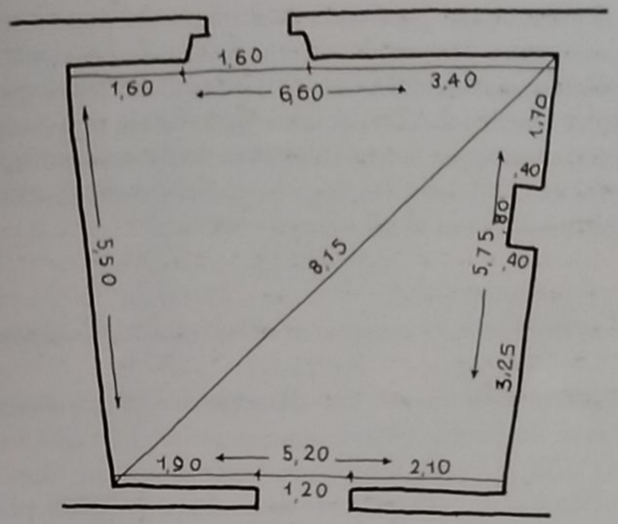


Fig. 26. Rilevamento delle misure interne di un ambiente con l'utilizzo di misure parziali e totali.

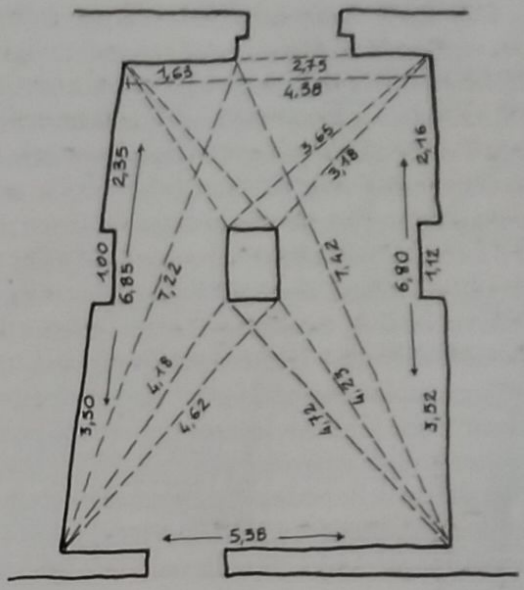


Fig. 28. Rilevamento di un ambiente che non consente la determinazione di una diagonale; in questo caso occorre dividere il vano in triangoli minori. La posizione del pilastro è relazionabile con le pareti mediante trilaterazioni.

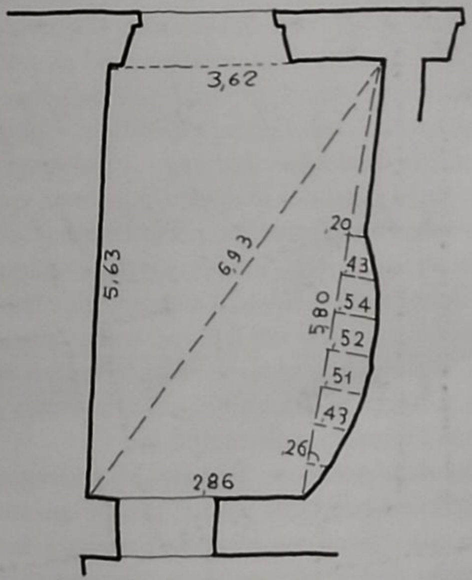


Fig. 27. Rilevamento di un ambiente con una parete ad andamento mistilineo. Fermo restando il rilevamento delle pareti rettilinee mediante triangoli, naturalmente, tutti impostati su uno stesso piano orizzontale, per la parete anomala conviene adottare il metodo per ascisse e ordinate.

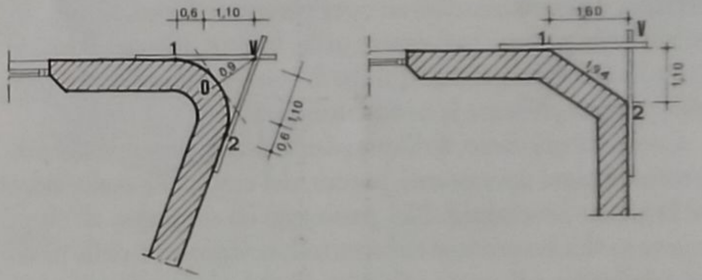


Fig. 29. Rilevamento di angoli arrotondati o «tagliati», eseguito mediante l'ausilio di due regoli per determinare il punto V d'incontro delle due pareti.

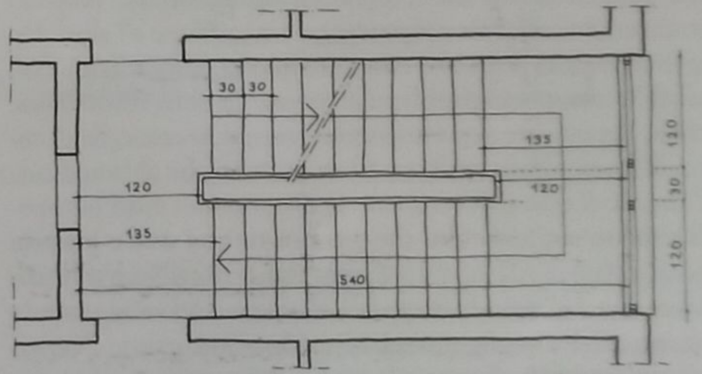


Fig. 30. Schema di rilevamento planimetrico di un vano scala.

individuare il vertice V di incontro tra le due pareti. Nel caso dello spigolo tagliato, il rilievo si completa prelevando le misure che intercorrono tra il vertice e i punti 1 e 2. Qualora lo spigolo sia arrotondato, oltre a queste misure occorre rilevare la distanza tra il vertice V e il punto O di tangenza della curva.

Il rilievo delle scale riveste una particolare importanza, sia per le difficoltà intrinseche che alcune di esse possono presentare, sia per il loro ruolo di collegamento tra i vari piani. Attraverso il loro rilievo, infatti, non solo è possibile collegare un piano a quello successivo, ma anche ricavare l'altezza dei vari piani e lo spessore del solaio. Il rilievo planimetrico di una scala, come quella esemplificata nella fig. 30, non comporta particolari problemi: prese le misure interne del vano, si prelevano quelle dei pianerottoli di arrivo e di partenza, la lunghezza delle rampe, la larghezza delle pedate, il numero delle alzate e delle pedate; inoltre, sul disegno, vanno riportati il punto di partenza e di arrivo di ogni rampa, da indicarsi con le lettere P e A, e il piano di sezione con cui va costruita la successiva sezione verticale. Il problema è più complesso per scale rampanti o elicoidali; in tal caso, i gradini non hanno la pedata costante e, pertanto, è necessario rilevare, per ciascuno di essi, le due larghezze della pedata; può essere utile, inoltre, rilevare il punto di irradiazione dei gradini (punto di convergenza di tutti i gradini), per semplificare la restituzione grafica.

Come si è già detto, il rilievo planimetrico procede dal piano terra ai piani sovrastanti; perciò, nel caso della scala, si segue la stessa procedura. Nel passaggio da un piano all'altro, occorre molta avvertenza nel controllare il piombo delle pareti che delimitano il vano scala. Non di rado, infatti, negli edifici in muratura, i muri del vano scala subiscono una rastremazione, salendo verso l'alto. Ne consegue che, sovente, esistono rastremazioni collocate nel passaggio tra un piano e l'altro. Un rilievo frettoloso potrebbe omettere questa particolarità e ciò creerebbe non pochi problemi al momento della restituzione grafica. Per ovviare a questo inconveniente, si consiglia di calare, all'interno della scala, un filo a piombo che abbracci tutta l'altezza di essa e di verificare le distanze dei muri perimetrali rispetto a questo filo, che costituisce una vera e propria fondamentale di riferimento. Con questo controllo, eventuali rastremazioni e, quindi, variazioni di misura del vano scala da un piano all'altro, vengono subito evidenziate.

Completato il rilievo dei vari piani fuori terra, si passa, con la metodologia già illustrata, al rilievo dei piani interrati e del sottotetto (figg. 31, 32). Per quanto riguarda quest'ultimo, si consiglia anche di rilevare l'orditura del tetto, specialmente se è realizzata con travature lignee. Essa può essere riportata, a tratteggio, anche sullo stesso elaborato grafico che rappresenta la pianta dei sottotetti, data, normalmente, la semplicità di questi locali.

Schizzo (o eidotipo) e progetto di rilevamento delle sezioni

Per sezione si intende uno spaccato di edificio, eseguito a mezzo di un piano verticale immaginario, che taglia in due parti l'edificio stesso. Il piano verticale di sezione viene ubicato, di solito, in posizione tale da risultare perpendicolare ai prospetti dell'edificio, così da ottenere una sezione retta. Possono verificarsi, tuttavia, circostanze in cui è necessario tagliare l'organismo edilizio con un piano di sezione non perpendicolare alle facciate e allora si hanno *sezioni oblique*. Se il piano di sezione è perpendicolare alla facciata principale o comunque al lato maggiore dell'edificio, si ottengono le cosiddette *sezioni trasversali*, mentre, se il piano di sezione è perpendicolare ai lati corti dell'edificio, si ottengono *sezioni longitudinali*. La scelta della posizione del piano sezionante riveste grande importanza, poiché la sezione deve mettere in risalto le caratteristiche interne dell'edificio. Come già si è visto per la pianta (sezione orizzontale), è indispensabile che il piano di sezione passi per le aperture esterne, quali porte o finestre, in modo che possa fornire l'altezza del vano e del parapetto. Un altro elemento interessato dalle sezioni è il corpo scala, che deve essere incluso in almeno una sezione. In particolare, quella che passa per il corpo scala, va posizionata in modo tale da tagliare longitudinalmente le rampe della scala stessa, per permettere di rappresentare la forma geometrica degli scalini, il numero delle rampe ecc.

La scelta della posizione del piano di sezione deve essere riportata sullo schizzo delle piante, poiché queste consentono di avere una visione completa dei problemi da rappresentare. Una volta decisa, tale posizione viene tracciata a tratto e punto sulla pianta del piano terra e successivamente riportata sulla pianta degli altri piani. La linea che, in pianta, indica il piano di sezione, deve essere individuata da una coppia di

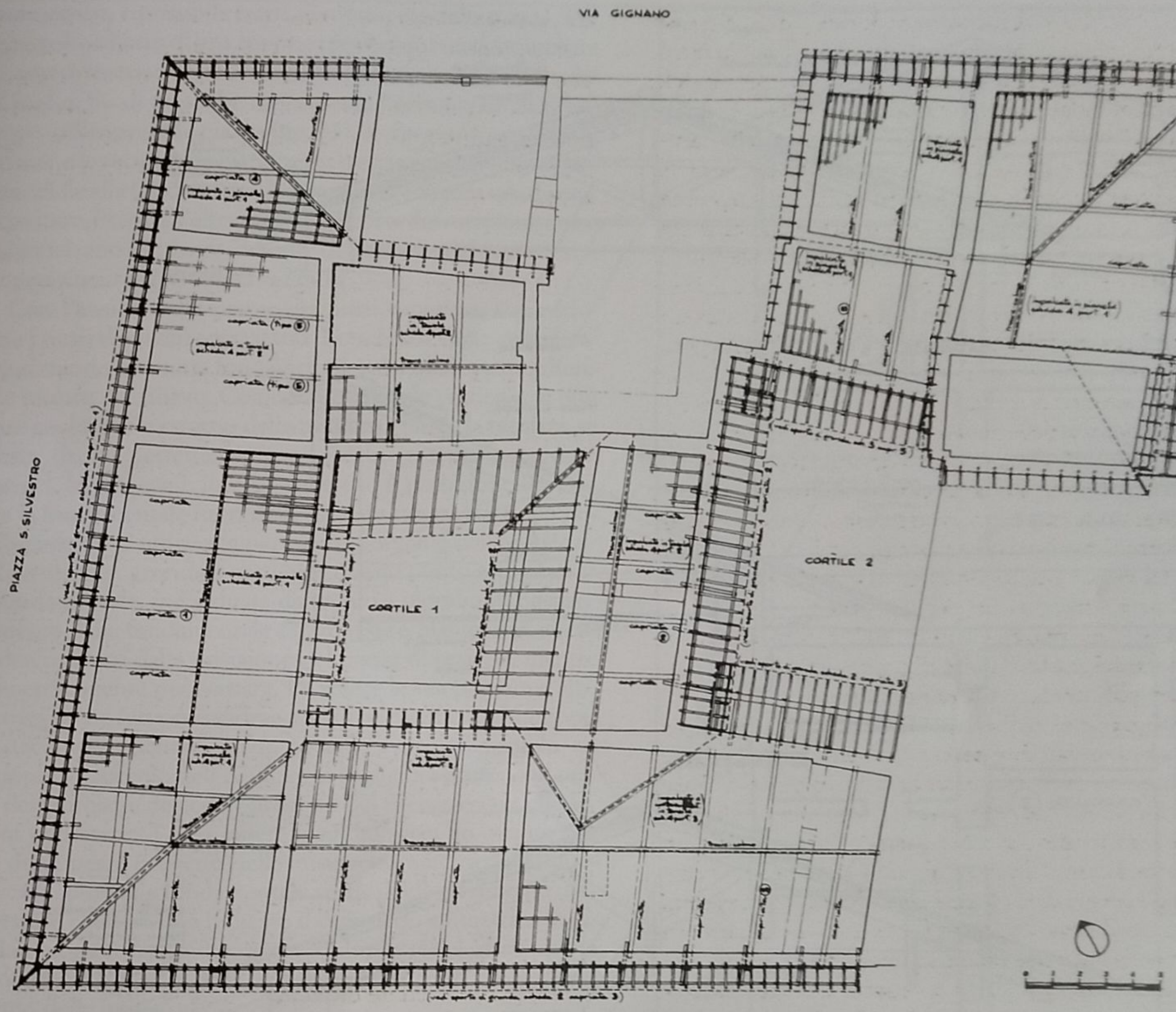


Fig. 31. L'Aquila, Palazzo Branconio. Pianta dell'orditura del tetto. Rilevamento M. Centofanti, V. De Masi, L. Zordan, con la collaborazione di V. Giusti.

lettere e riportare anche il verso di proiezione della sezione. Pertanto, ogni sezione è contraddistinta da una coppia di lettere: ad esempio, sez. A-A', sez. B-B' ecc.

Le sezioni riportano due diversi tipi di misure: quelle orizzontali e quelle verticali (o altezze). Come si può facilmente osservare, le misure orizzontali rappresentano la larghezza del corpo fabbrica, la distanza e lo spessore dei muri. Poiché tutte queste misure sono già state prelevate in occasione del rilievo

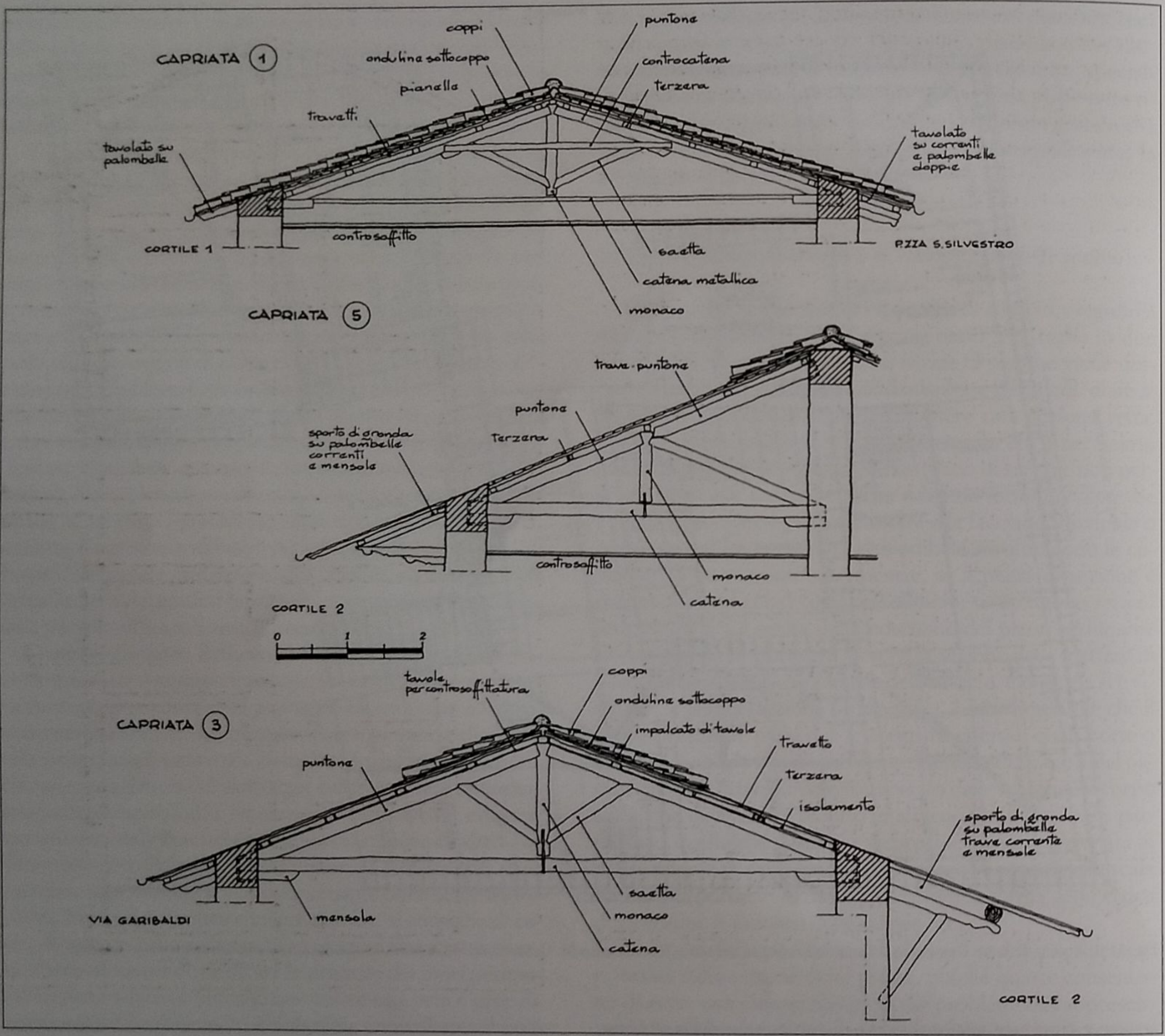


Fig. 32. L'Aquila, Palazzo Branconio. Vari tipi di capriate. Rilevamento M. Centofanti, V. De Masi, L. Zordan, con la collaborazione di V. Giusti.

planimetrico, è possibile trarle direttamente dalla pianta. Per eseguire lo schizzo di una sezione trasversale conviene iniziare il disegno tracciando una linea orizzontale nella parte bassa del foglio. Su di essa, che rappresenta l'orizzontale di riferimento, utilizzando la pianta (fig. 33), si riportano gli spessori dei muri e le reciproche distanze. Si traccia poi una serie di rette parallele alla fondamentale, poste a una distanza tale da rappresentare, in scala, l'altezza stimata a vista dei vari piani; quindi si innalzano le misure, desunte dalla pianta del piano terra, per posizionare verticalmente i muri.

Con l'ausilio delle piante dei piani superiori, si posizionano i muri dei piani sovrastanti. Lo schizzo viene completato tracciando una retta fondamentale, alla quale vanno riferite le misure del rilievo. Come fondamentale verticale, si può usare anche il filo esterno della muratura lungo la facciata, se questa risulta perfettamente a piombo e senza sporgenze (cornici, lesene ecc.); in caso contrario è preferibile far passare la fondamentale fuori dalla facciata stessa. Per il suo posizionamento si utilizza la parte più sporgente della copertura (cornicione, grondaia ecc.) e da questo punto si fa passare la fondamentale, individuata da un filo a piombo. Il posizionamento della fondamentale orizzontale è planimetricamente determinato dalla posizione del piano di sezione, mentre altimetricamente può variare. Di solito, la sua posizione altimetrica viene fatta coincidere con un elemento architettonico (facilmente riconoscibile), ad andamento orizzontale, ad esempio lo zoccolo dell'edificio, la soglia del portone, il piano del marciapiede ecc. Il progetto del rilevamento delle sezioni (altimetrico) deve essere eseguito secondo quanto si è già detto per il progetto delle misure planimetriche: in questo caso, oltre alla fondamentale verticale di riferimento, deve essere chiaramente indicato il caposaldo altimetrico di riferimento; generalmente, a quest'ultimo viene attribuita la quota zero. Nella fig. 34 è riportato un progetto per il rilevamento delle misure altimetriche.

Completato lo schizzo (o eidotipo) della sezione, si passa al prelievo delle misure.

Tecnica di rilievo delle misure altimetriche

Dopo l'illustrazione dei fondamenti teorici del rilevamento altimetrico, è bene tenere presenti alcune norme pra-

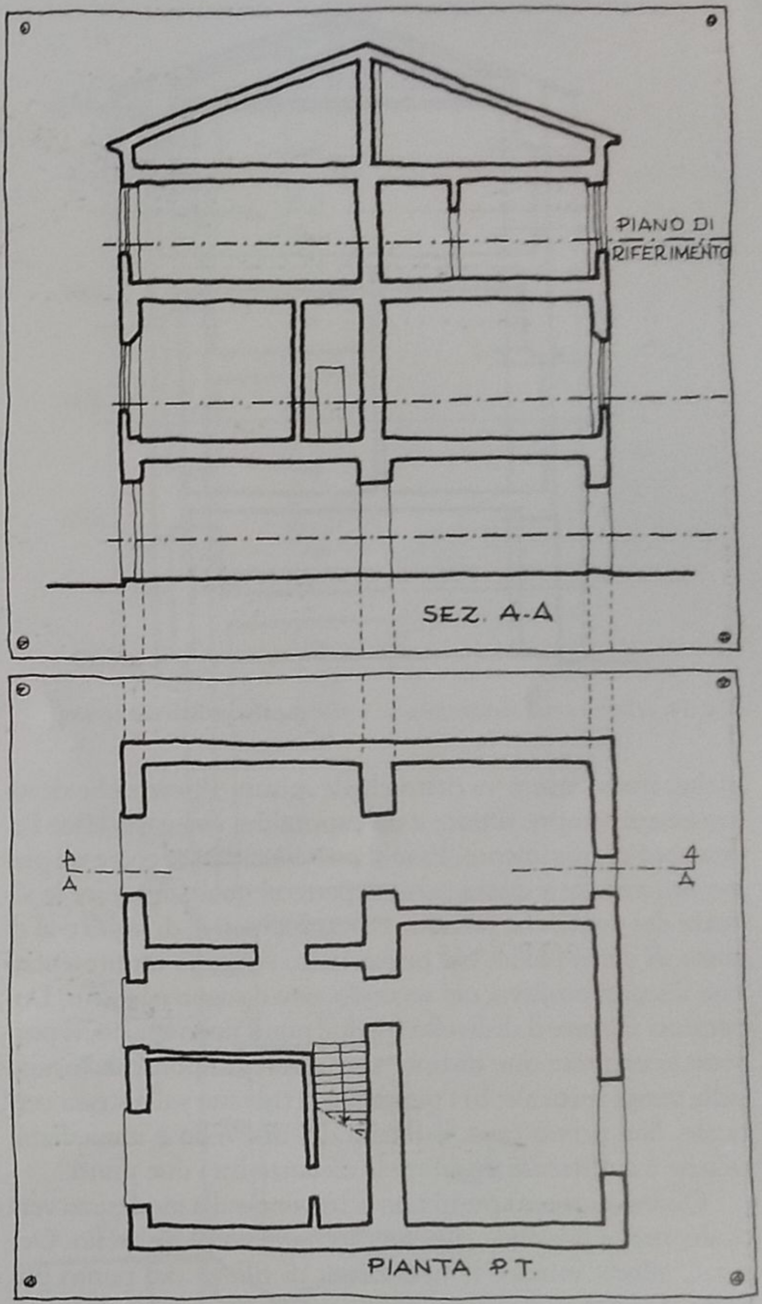


Fig. 33. Schizzo preparatorio di una sezione, ricavato dalla pianta, attraverso il raffronto diretto.

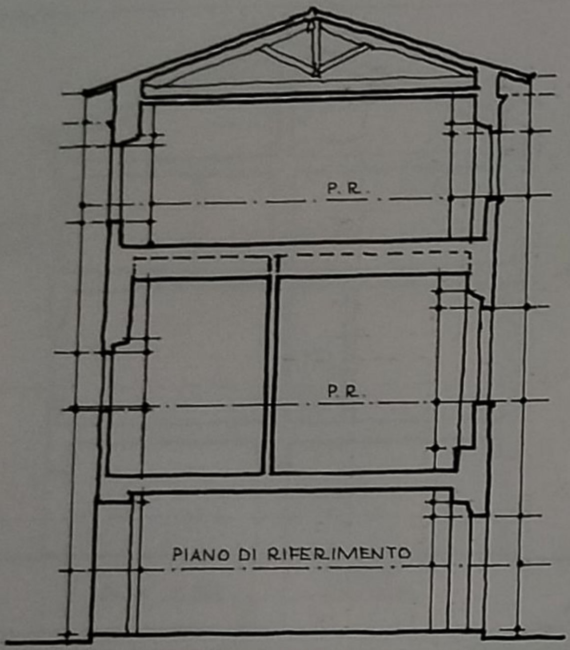


Fig. 34. Schema per il rilevamento delle misure principali di una sezione.

tiche. Innanzitutto va detto che le misure altimetriche devono essere sempre riferite a un caposaldo, che costituisce l'elemento di riferimento. Esso si può considerare come un piano orizzontale a quota zero, rispetto al quale misurare le altezze dei punti, che possono trovarsi situati al di sopra o al di sotto di detto piano: nel primo caso, vengono rappresentati con il segno positivo, nel secondo, con il segno negativo. Dovendosi rilevare il dislivello fra due punti nello spazio, si possono presentare due distinte situazioni: a) i punti si trovano sulla stessa verticale; b) i punti non si trovano sulla stessa verticale. Nel primo caso, il rilievo del dislivello è immediato, poiché è sufficiente misurare la distanza fra i due punti.

Quando invece i punti non si trovano sulla medesima verticale, non è possibile rilevare direttamente il dislivello. Occorre, allora, iniziare le operazioni di rilievo dal punto più basso, facendo coincidere con esso un regolo che disposto orizzontalmente a mezzo di livella, si avvicini alla verticale del punto più alto, fino a riportare la posizione altimetrica del primo punto sulla verticale del secondo, riconducendo con ciò le operazioni di misura al caso precedente.

Qualora si debba rilevare il dislivello fra due punti A e B, distanti fra loro e con interposti ostacoli, si può procedere con una livellazione a scaletta (*coltellazione*, fig. 35a,b): con un triplometro munito di livella si inizia il rilievo dal punto A e si misura il dislivello fino al punto 1, dove il terreno cambia pendenza. Con il triplometro posto in piano si misura il dislivello tra lo strumento e il punto 1: dalla misurazione si deduce che il punto 1 è più basso del punto A di m – 0,60 (l'indice negativo informa che il punto è più basso). Si riprendono le misurazioni a partire dal punto 1, fino ad arrivare al punto 2: in questo caso, il punto 2 è più alto del precedente e pertanto la quota rilevata (+ m 1,00) ha un valore positivo. Si procede analogamente, fino ad arrivare al punto B, rilevando le quote di tutti i punti in cui il terreno cambia pendenza. La somma algebrica delle quote rilevate dalla misura del dislivello fra il punto di partenza A e il punto di arrivo B

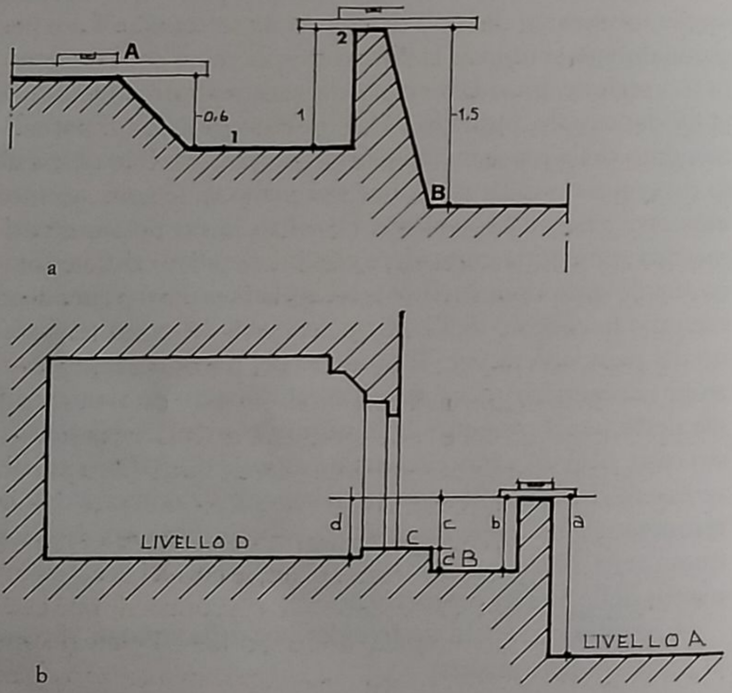


Fig. 35a,b. a) Rilevamento altimetrico con determinazione del dislivello fra due punti A e B. La differenza è data da 1,5 – (1 – 0,6) = 1,1; b) determinazione dei dislivelli B, C e D rispetto ad A: per determinare il livello B basta fare la differenza a – b; il livello C resta individuato dalla differenza a – c (portando l'orizzontale indicata fino allo stipite della porta), oppure da a – b + c; il livello D si trova per differenza di a – d, oppure di a – (c + c').

è la differenza cercata. Nel caso in esame, si ha (– 0,60 + 1,00 – 1,50) = – 1,10; infatti – 1,10 rappresenta il dislivello fra A e B. Il segno negativo indica che il punto B ha una quota inferiore al punto A. Se nell'effettuare il rilievo altimetrico dei punti A e B e dei punti intermedi si rilevano anche le distanze orizzontali tra essi, non solo si avranno i valori altimetrici dei vari punti, ma si potrà tracciare il profilo del terreno (sezione con piano verticale), lungo il percorso effettuato per passare da A a B. Questo metodo è usato, pertanto, sia per rilievi altimetrici che per tracciare profili. Quando si debba operare su distanze notevoli, l'uso dei triplometri con la livella diventa poco affidabile, a causa della scarsa precisione; è preferibile allora usare un livello a cannocchiale.

Quanto al problema del prelievo delle misure delle sezioni, occorre ricordare che la prima operazione da effettuare è la scelta del caposaldo a cui riferire tutte le misure altimetriche che vengono prelevate. Come è stato già detto il caposaldo è rappresentato sul disegno da una retta orizzontale, che costituisce la fondamentale delle altezze. Il suo posizionamento sull'edificio dovrà essere fissato a un punto di facile individuazione, ad esempio la soglia d'ingresso, lo zoccolo esterno o altro elemento analogo. Si consiglia di scegliere, come caposaldo, un particolare architettonico orizzontale, che abbracci tutto l'edificio; ad esempio, la parte superiore di uno zoccolo esterno all'edificio. Si passa, quindi, al prelievo delle misure, disponendo un filo a piombo lungo la facciata e partendo da una sua sporgenza: ad esempio, la gronda o la parte terminale del cornicione (fig. 36). Questo filo a piombo costituisce la fondamentale di riferimento a cui devono far capo tutte le distanze orizzontali delle varie sporgenze della facciata stessa.

Misurate tutte le distanze intercorrenti tra il filo a piombo e i punti che caratterizzano la facciata, si passa al prelievo delle misure verticali, che riguardano principalmente le soglie, gli architravi delle finestre, i marcapiani, le cornici, il cornicione di copertura, eventuali riseghe ecc. La misurazione può essere effettuata direttamente sulla facciata, con un doppio decametro ben teso e disposto verticalmente; se le sporgenze dalla facciata non consentono questo tipo di misurazione, l'operazione va eseguita in corrispondenza del filo a piombo. In questo caso, i punti da rilevare situati sulla facciata vengono riportati orizzontalmente, con un regolo munito di livella, sul filo a piombo, dove possono essere misurati. Le misure verticali

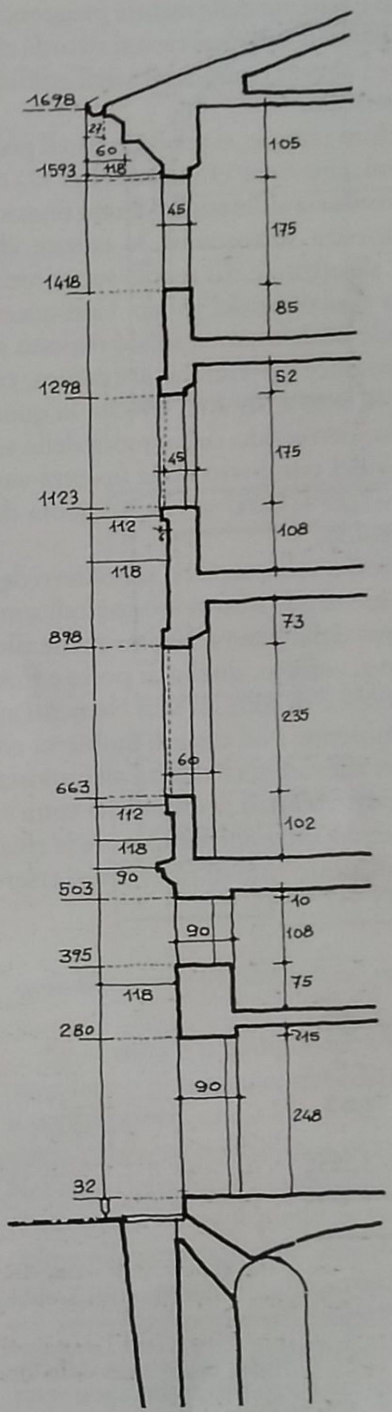


Fig. 36. Rilevamento delle misure altimetriche di una sezione ottenuto con l'ausilio di una linea di riferimento verticale costituita da un filo a piombo.

possono essere rilevate con il sistema delle misure progressive o con quello delle misure parziali, nel qual caso si ricorda che sarà indispensabile rilevare l'altezza complessiva dell'edificio, per avere un termine di controllo.

Completate le misurazioni esterne, si procede con il posizionamento dei solai interni, che viene effettuato (fig. 37) disponendo un regolo con livella sia sulla soglia di una finestra, sia sull'architrave della finestra sottostante; le misure che vanno dal regolo inferiore al soffitto e dal regolo superiore al pavimento determinano la posizione del solaio. Con questo metodo, non solo è possibile posizionare il solaio rispetto alle finestre, ma, con una semplice operazione aritmetica, conoscere anche lo spessore di esso e, inoltre, riferire la quota del pavimento al caposaldo, detraendo dalla quota della soglia della finestra la misura del parapetto della finestra «a». Nel caso in esame si avrà: (7,25 – 1,05) = + 6,20, quota del pavimento rispetto al caposaldo.

Determinata la posizione dei solai, si passa al prelievo delle misure verticali interne, mentre le misure orizzontali sono già state valutate con il rilievo della pianta. Vanno anche rilevate l'altezza dal pavimento al soffitto, quella di porte e finestre, dei parapetti delle finestre e di tutti gli altri elementi architettonici presenti nell'ambiente. Nel caso di ambienti coperti a volta, debbono essere rilevate sia l'altezza all'imposta, sia quella in chiave. In casi particolari, il profilo della volta va rilevato con più cura, misurando, oltre che l'imposta e la chiave, anche i punti intermedi. Questo tipo di rilievo può essere

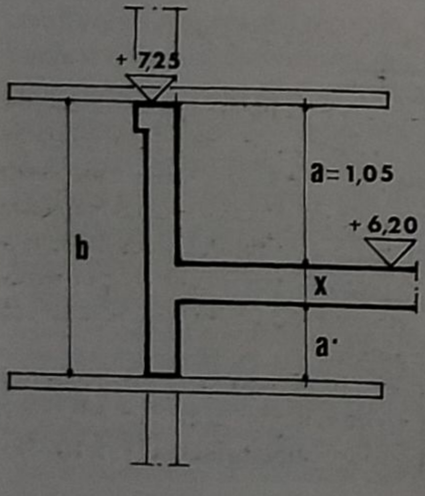


Fig. 37. Determinazione dello spessore di un solaio utilizzando l'apertura di due finestre sovrapposte. Lo spessore viene quantificato dalla formula x = b – (a + a').

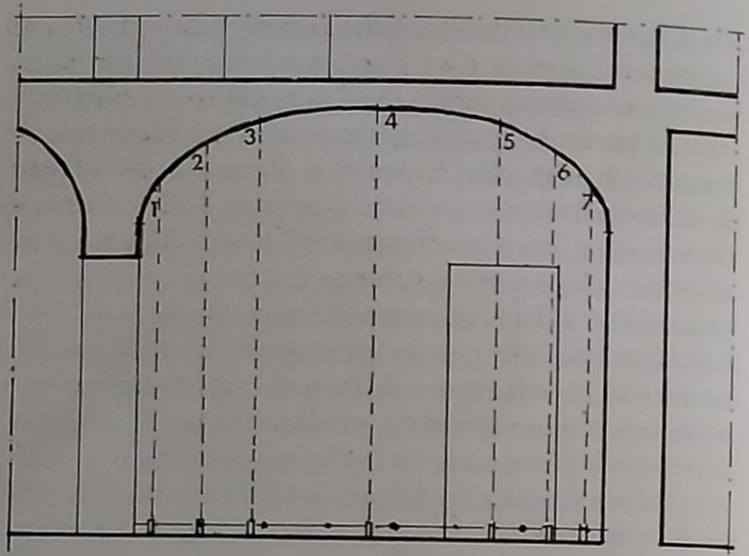


Fig. 38. Rilevamento del profilo di una volta mediante l'utilizzo di un distanziometro, posizionato a pavimento lungo un allineamento scelto sullo stesso piano di sezione del profilo da misurare.

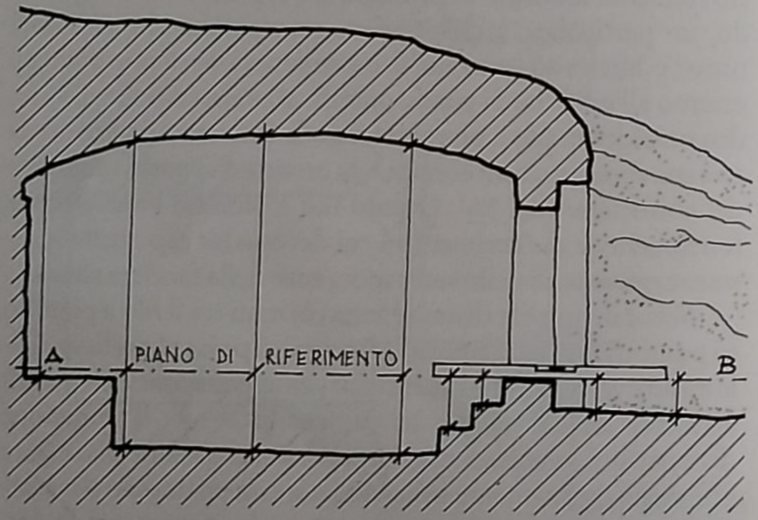


Fig. 39. Schema di rilevamento di un ambiente a pseudovolta con riferimento a una orizzontale; determinazione delle quote interne con aste telescopiche, dei dislivelli rispetto all'esterno e del profilo del terreno esterno rispetto alla orizzontale AB passante a contatto della soglia d'ingresso.

effettuato sia con il metodo delle ascisse e delle ordinate (utilizzando aste telescopiche) (figg. 39, 40), sia usando un distanziometro, da posizionare su un allineamento prestabilito a terra, che va scelto sullo stesso piano di sezione verticale dei punti da rilevare (fig. 38). Partendo da due punti base sul pavimento, si misurano, con trilaterazione, le distanze intercorrenti fra questi e tutti quei punti del soffitto, indispensabili per individuare la sua forma geometrica.

Se si tratta di una volta a vela (cfr. fig. 40), ad esempio, impostata su ambiente a pianta quadrata, è sufficiente verificare che tre suoi punti, allineati su una diagonale o altro meridiano, appartengano a una circonferenza.

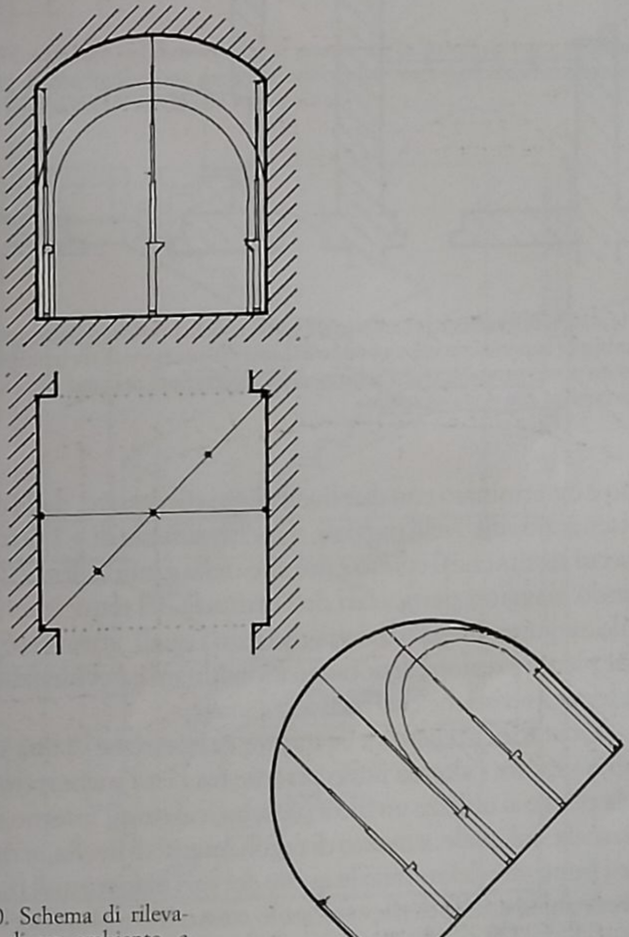


Fig. 40. Schema di rilevamento di un ambiente, a base quadrata, coperto con volta a vela.

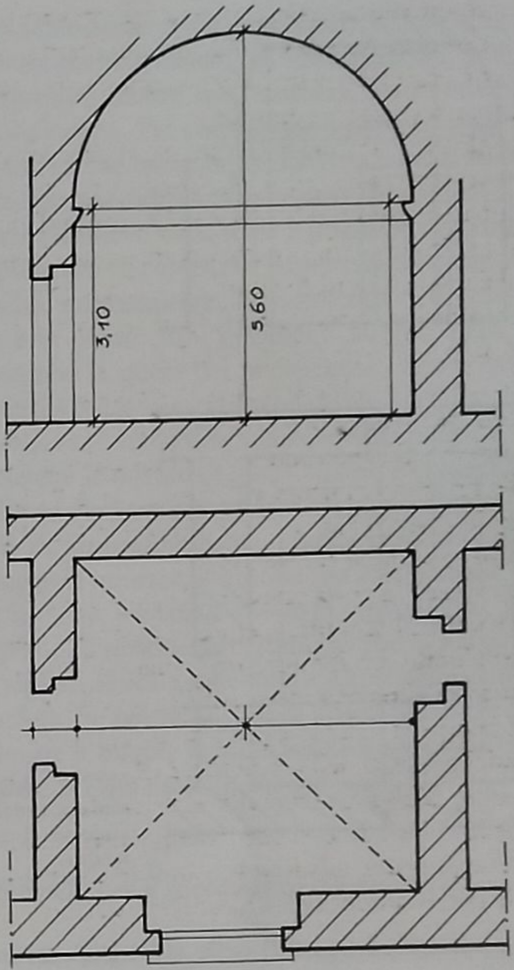


Fig. 41. Rilevamento altimetrico di una volta a padiglione.

Se la volta è a padiglione, sia su pianta quadrata che rettangolare o poligonale, ricordando che essa è formata da fusi contrapposti, che a loro volta possono essere a tutto sesto, a sesto rialzato o ribassato, si può procedere analogamente. Nel caso della fig. 41 (ambiente quadrato), si possono rilevare tre punti lungo il piano passante per il centro e perpendicolare alle generatrici dei fusi interessati, oppure misurare alcuni punti lungo una diagonale.

Se nell'intradosso di una volta vi sono elementi decorativi, questi vanno a loro volta riportati in pianta mediante la misurazione plano-altimetrica dei loro punti principali (cfr. fig. 42).

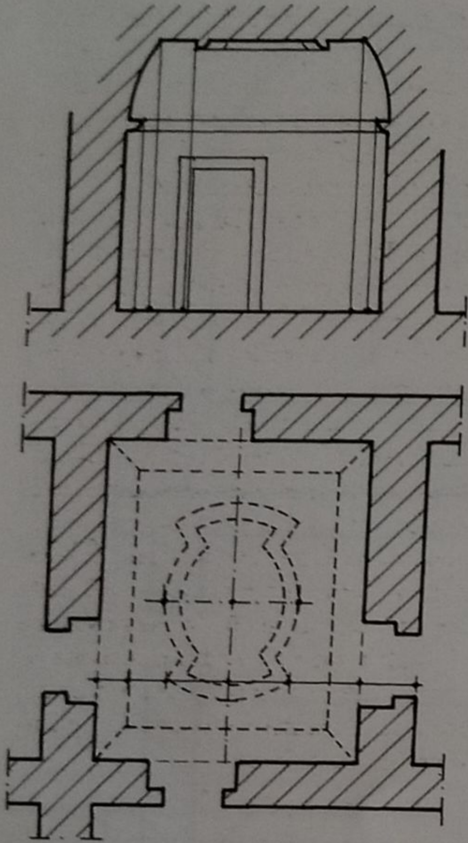


Fig. 42. Rilevamento di elementi decorativi nell'intradosso di una volta «a schifo».

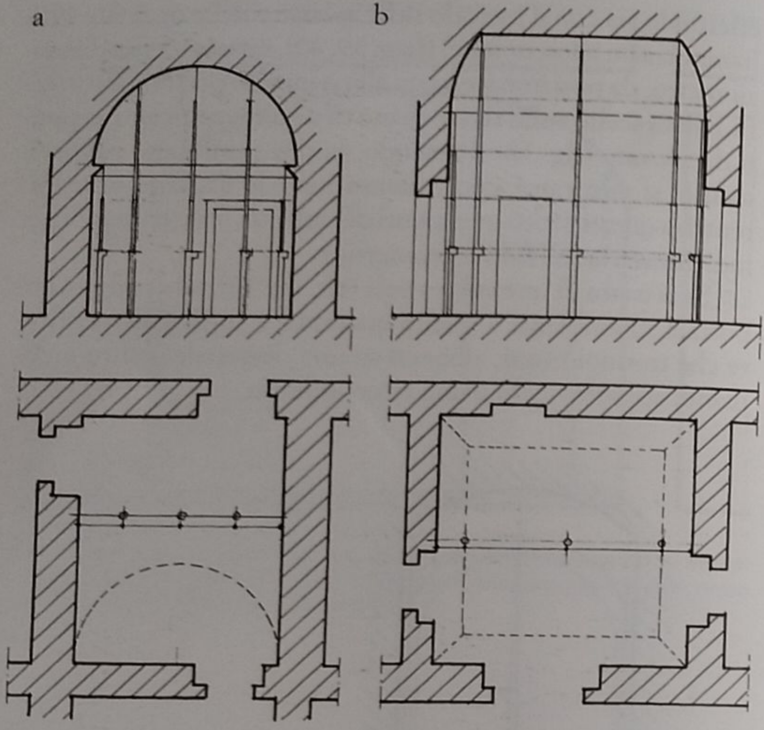


Fig. 43a,b. Rilevamento di ambienti a volta. a) Schema delle misurazioni per un ambiente coperto con volta a botte mediante misurazione di tre o più punti lungo un piano prestabilito; b) schema delle misurazioni nel caso che l'ambiente sia coperto con volta «a schifo».

Il rilevamento dei profili delle volte può essere tuttavia più agevole, se eseguito con il metodo delle ascisse e delle ordinate, che consiste nel determinare sul pavimento la proiezione di punti situati sulla volta, utilizzando un filo a piombo; quindi vanno misurate sia la distanza di questi punti sul pavimento, sia quella tra il punto sulla volta e la sua proiezione sul pavimento (fig. 43a,b).

Nel rilievo dei locali sottotetto, si deve misurare l'altezza della linea di gronda, del colmo e delle coste, mentre, anche in questo caso, le misure in larghezza vanno desunte dalla pianta ed eventualmente verificate. Se il sottotetto ha la struttura portante in vista (ad esempio, con ordito in legno), da esso è possibile determinare anche l'andamento della facciata superiore del tetto; negli altri casi, si deve procedere con una livellazione a scaletta (figg. 31, 44). Il dislivello fra la linea di gronda e il colmo è determinato con due livellazioni successive, dalle quali si ottengono i dislivelli parziali, rispettivamente di + 1,60 e + 0,7, da cui risulta che il colmo è più alto della gronda di m 2,30. Volendo maggiori particolari dell'orditura del tetto, è consigliabile eseguire disegni di dettaglio, con i quali, attraverso apposite piante e sezioni, si possono individuare ed evidenziare tutte le caratteristiche costruttive.

Quanto al prelievo delle misure altimetriche di una scala, è bene rilevare l'altezza intercorrente fra i vari pianerottoli. Per tale rilievo si utilizza un filo a piombo, calato all'interno del vano scala, sul quale, a mezzo di regoli muniti di livella, si riportano i punti che delimitano le quote dei vari pianerottoli (fig. 45). Si consiglia anche di rilevare, sullo stesso filo a piombo, l'altezza globale della scala. Per quanto attiene all'altezza dei gradini, questa può essere ricavata a tavolino, dividendo la misura della

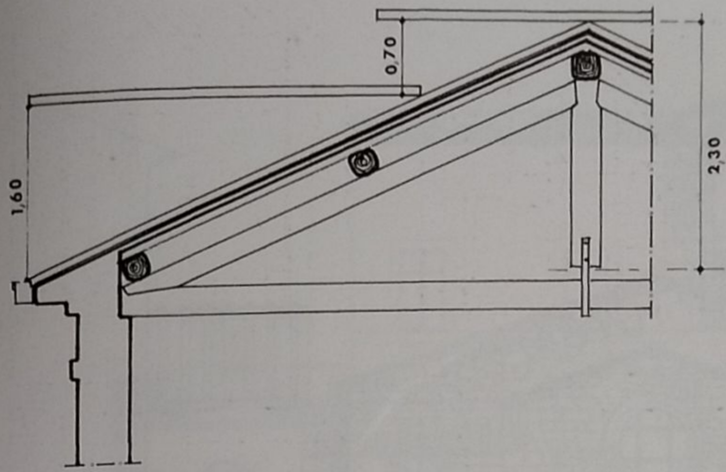


Fig. 44. Rilevamento del dislivello fra la gronda e il colmo di un tetto, mediante l'ausilio di una livellazione per punti successivi, con regoli disposti orizzontalmente o triplometri con livella incorporata.

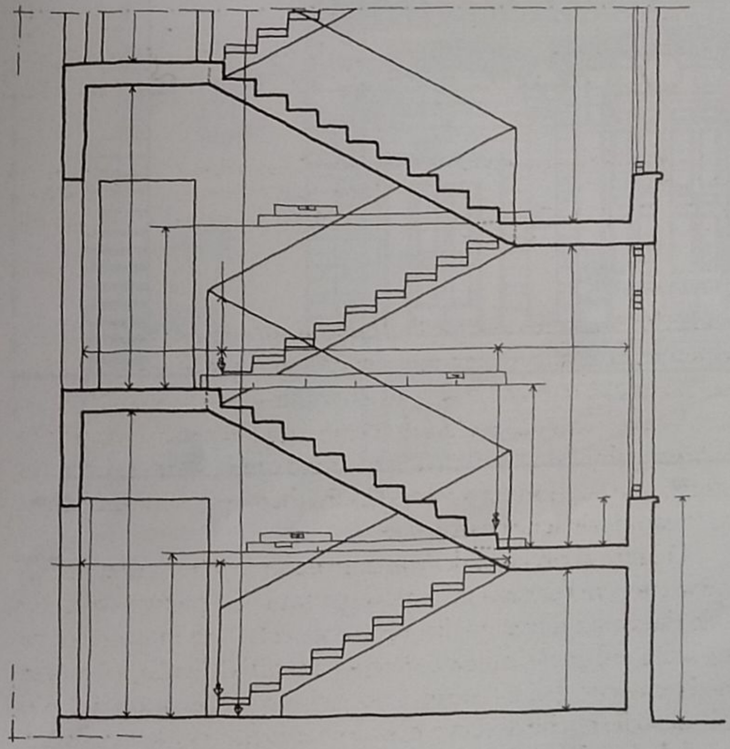


Fig. 45. Rilevamento altimetrico di un vano scala.

distanza fra i due pianerottoli per il numero delle alzate, ma è bene prelevare anche le misure dei singoli gradini. Sulla sezione si deve riportare, inoltre, con chiarezza, il numero delle alzate di ciascuna rampa. Per completare il prelievo delle misure verticali è sufficiente misurare la distanza complessiva intercorrente fra due pianerottoli e lo spessore dei medesimi.

Attraverso il rilievo della scala è possibile determinare la quota dei pianerottoli caposcala, rispetto al caposaldo di partenza. Poiché, normalmente, il pavimento del pianerottolo della scala è in piano con i pavimenti interni, viene individuata, attraverso la quota del pianerottolo, anche quella interna. Come già è stato osservato per le altre sezioni, le misure in larghezza sono tratte direttamente dalla pianta della scala. Nel prelevare le misure di quest'ultima, è consigliabile rilevare anche quelle parti non visibili nel piano di sezione, poiché in sede di rappresentazione grafica possono essere necessarie maggiori informazioni sulla sua costituzione. È buona norma, tuttavia, ovviare a questo inconveniente, già nella scelta del piano di sezione, accertandosi che la sua posizione sia tale da tagliare la scala sulle rampe e costituire così una visione completa. Se nel vano scala si aprono finestre o porte, occorre rilevare le misure verticali relative alle soglie e agli architravi, come si è già detto in precedenza.

Schizzo e progetto per il rilevamento dei prospetti

Occorre ricordare che la rappresentazione mongiana di un prospetto si ottiene proiettando il medesimo su un piano a esso parallelo, in direzione ortogonale al piano di rappresentazione.

La rappresentazione del prospetto consiste nel disegnarne gli elementi salienti, quali i contorni, i contorni delle porte e delle finestre, le fasce, i marciapiedi, i cornicioni ecc. Si tratta, come si è già visto, di rendere «discreto», attraverso alcune linee, il «continuo» espresso dalla muratura costituente un prospetto (figg. 46, 47).

Per l'impostazione del disegno della facciata, ci si serve delle piante e delle sezioni già eseguite, dalle quali si prelevano le misure di larghezza e altezza della facciata stessa. Tuttavia, il disegno deve essere completato sul posto, affinché si possano collocare nella giusta posizione tutti i particolari ar-

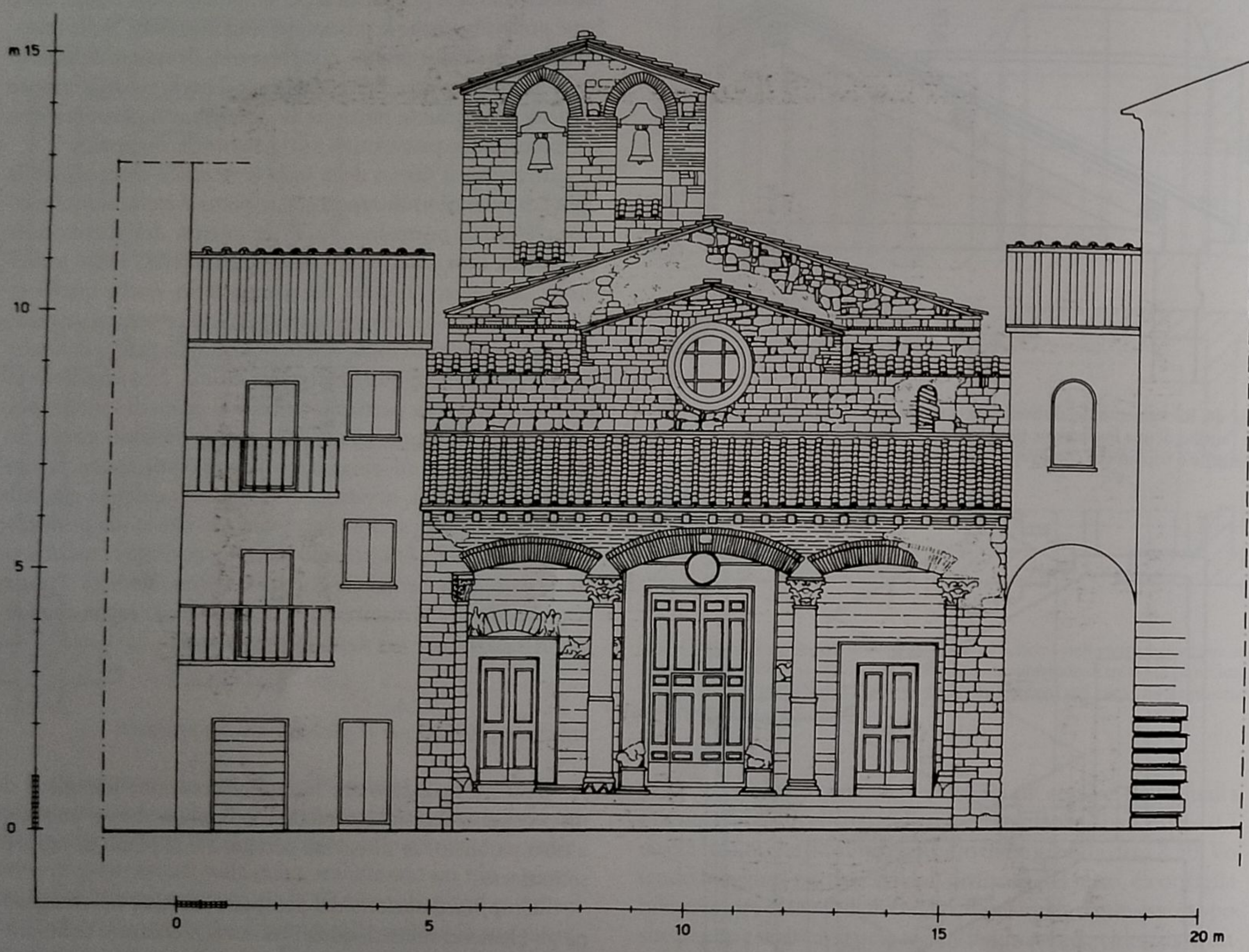


Fig. 46. Narni, chiesa di Santa Maria Impensole. Rilevamento della facciata. Rilevamento M. Bartolini, G. Giuliani, A. Sebastiani. Rielaborazione C. Altobelli.

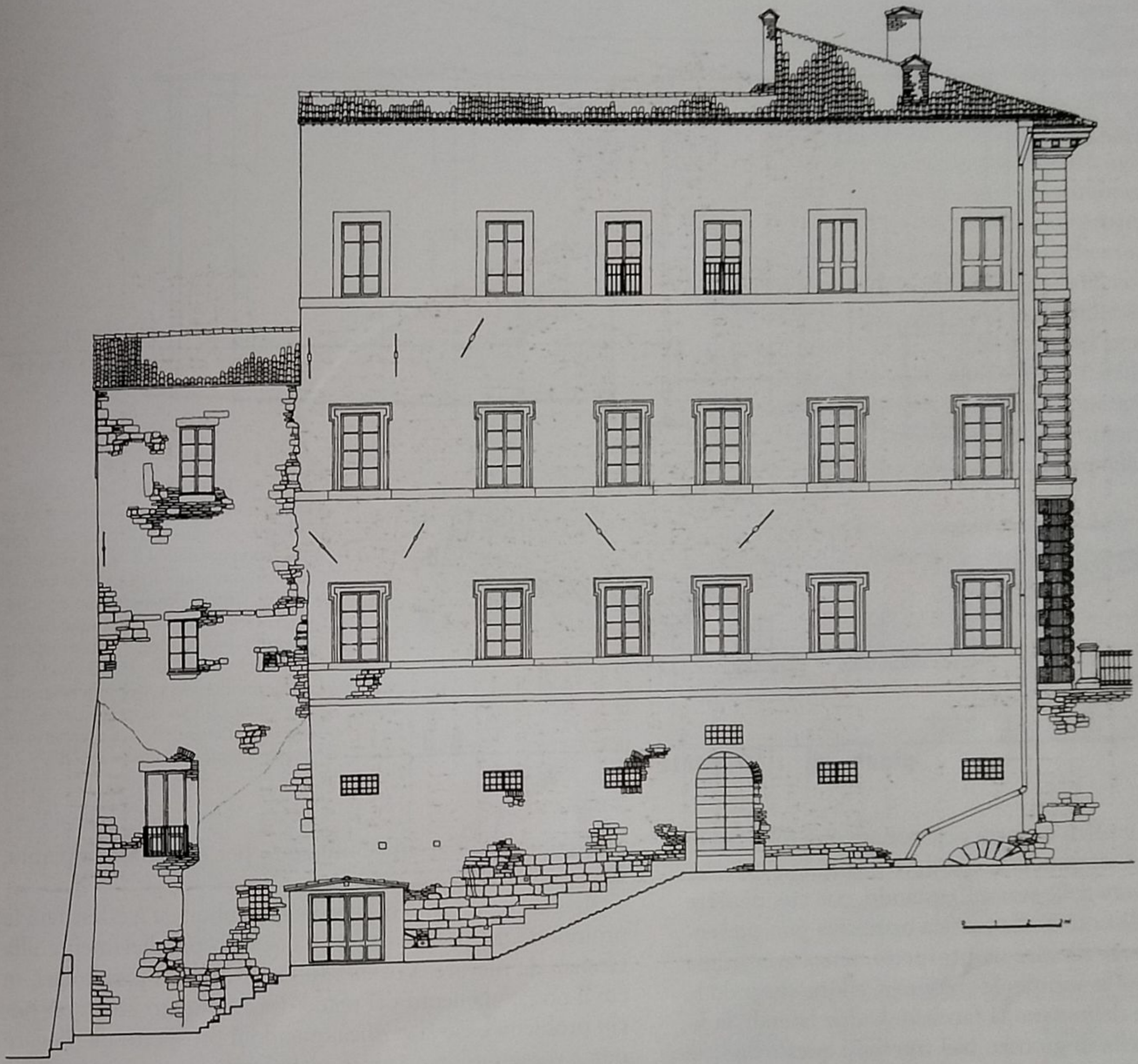


Fig. 47. Todi, Palazzo Viviano degli Atti, ora Pensi. Facciata orientale. Rilevamento F. Toppetti, disegno L.C. Pepponi.

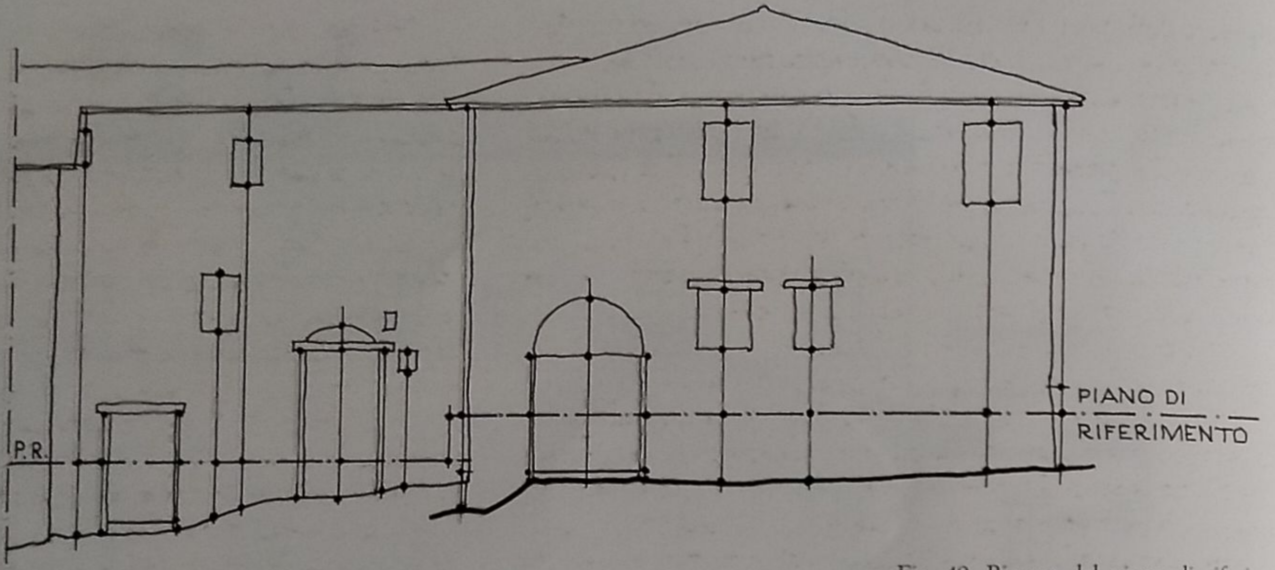


Fig. 48. Schema di rilevamento delle altezze principali di un prospetto. Le misure verticali sono prelevate rispetto al piano di riferimento; positive quelle al di sopra di esso e negative quelle al di sotto.

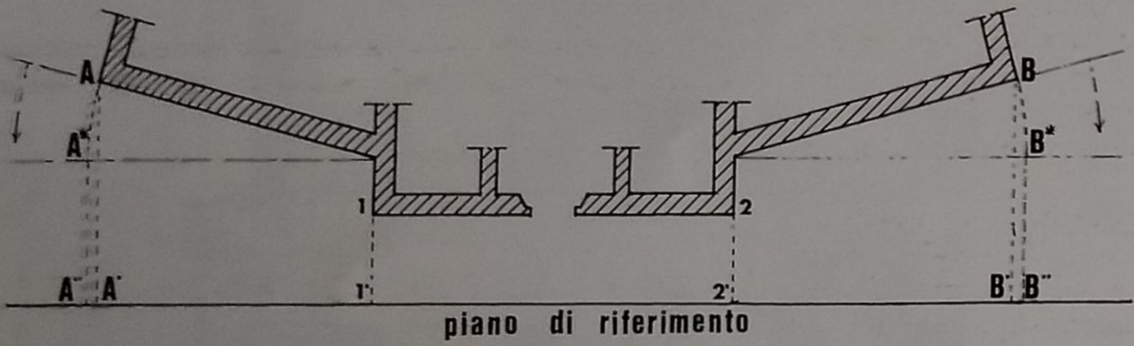


Fig. 49. Ricerca del piano di riferimento per realizzare il prospetto di un edificio con facciata disposta su più piani non paralleli. La figura evidenzia due diversi metodi di proiezione: nel primo, l'intero prospetto viene proiettato ortogonalmente sul piano di riferimento, dando luogo a un prospetto di lunghezza A'B'; nel secondo, la proiezione avviene dopo la rotazione dei piani obliqui su piani paralleli a quello di riferimento, e il prospetto assume, allora, la lunghezza A"B".

chitettonici. Sul grafico occorre posizionare una fondamentale orizzontale di riferimento, che deve possibilmente essere la stessa utilizzata nelle sezioni, evitando, con ciò, di avere due riferimenti distinti. Nella pratica operativa può presentarsi il caso di dover rilevare un prospetto, senza aver prima rilevato le piante e le sezioni. Si comincia, allora, fissando le quattro linee che delimitano la facciata: le due laterali, la linea di terra e quella di gronda. Nel tracciare queste linee, è bene cercare di stimare le misure della facciata e di mantenere le stesse proporzioni nel disegno. Successivamente, si passa a posizionare le finestre attraverso gli assi che le individuano e, infine, si completa lo schizzo con tutti gli altri particolari. Si sceglie quindi una linea orizzontale, vicina alla linea di terra e possibilmente coincidente con un elemento architettonico, che assume le funzioni di fondamentale (piano di riferimento orizzontale utilizzato per disegnare la pianta, cfr. fig. 48).

In genere, il piano di riferimento sul quale è effettuata la proiezione del prospetto viene disposto parallelamente alla facciata da rilevare. Vi sono, tuttavia, dei casi particolari, in cui il posizionamento del piano di riferimento crea non pochi problemi e ciò si verifica quando il prospetto da rilevare non è contenuto in un unico piano verticale.

Nel caso di un prospetto munito di avancorpo e di due corpi laterali inclinati rispetto all'avancorpo (fig. 49) si pone il problema se utilizzare un unico piano di riferimento, su cui proiettare l'intero prospetto, o se scomporre il prospetto e utilizzare diversi piani di riferimento. Con l'adozione di un unico piano di riferimento, si ha il vantaggio di ottenere un'unica rappresentazione del prospetto, ma anche lo svantaggio

di avere delle parti del prospetto «deformate» per effetto della proiezione su un piano di riferimento non parallelo.

In linea generale, è preferibile mantenere unico il prospetto e utilizzare un unico piano di riferimento. Tuttavia, nei casi in cui il prospetto può essere chiaramente disaggregato, quando cioè l'angolo di inclinazione tra prospetto e piano di riferimento diventa troppo grande, superando i 15-20 gradi, è preferibile utilizzare più piani di riferimento, disponendo questi ultimi in posizione parallela al prospetto.

Nel caso preso in esame nella fig. 49, qualora si volesse evitare la riduzione delle porzioni del prospetto A1 e 2B per effetto della proiezione A'1' e 2'B', si può ricorrere all'uso simultaneo di tre piani di riferimento, senza tuttavia disaggregare il prospetto. In questo caso, effettuate le tre proiezioni sui tre piani di riferimento, si ricompone l'immagine del prospetto, riportando sul primo piano di riferimento, attraverso una rotazione, le proiezioni delle porzioni laterali. Ne consegue che sul primo piano di riferimento si avrà la proiezione complessiva del prospetto A" B", il che equivale ad aver effettuato lo sviluppo dell'intero prospetto. In alcuni casi, onde non avere parti deformate, può essere utile procedere nel modo sopra riportato.

Il problema della scelta dei piani di riferimento è assai delicato e deve essere attentamente valutato dal rilevatore, anche alla luce delle finalità del rilievo. Quando si utilizza un unico piano di riferimento per facciate disposte su più piani non paralleli, è indispensabile che la traccia del piano di riferimento sia indicata chiaramente nello schizzo della pianta.

Per quanto attiene al progetto di rilevamento delle facciate, esso si configura in modo del tutto analogo a quello delle sezioni; pertanto non occorre dilungarsi su di esso.

Prelievo delle misure dei prospetti

Nel prelievo delle misure dei prospetti si segue la metodologia già descritta; pertanto, in linea generale, si adotta il metodo delle misure parziali, integrato da alcune misure globali, per controllo (cfr. fig. 50). Solo in casi particolari, quando cioè si debba rilevare il solo prospetto, è indispensabile procedere al prelievo delle misure; in tutti gli altri casi, il rilevamento planimetrico e quello delle sezioni forniscono, in molti casi, le misure necessarie per poter rappresentare le facciate.

Nel caso in cui si debba effettuare il solo rilevamento della facciata, si inizia l'operazione con il prelievo delle misure orizzontali, cosa che può essere effettuata a livello del suolo, senza particolari difficoltà. Oltre alla larghezza complessiva della facciata, si rilevano le larghezze parziali, riferentisi a tutte le aperture del piano terra e, eventualmente, agli assi di queste.

Dovendosi misurare la distanza orizzontale di due punti posti a notevole altezza dal suolo, si può procedere, con buona approssimazione, con il seguente metodo: ci si pone, muniti di filo a piombo, a una certa distanza dalla facciata e si traguarda uno dei due punti in direzione perpendicolare alla facciata stessa, riportando la perpendicolare del punto sulla fondamentale orizzontale. Quindi, sempre con il filo a piombo, ci si sposta sul secondo punto, ripetendo l'operazione. Si trovano così, sulla fondamentale, due punti corrispondenti ai punti sovrastanti e la distanza fra di essi fornisce quella fra i punti inaccessibili.

Successivamente si passa al prelievo delle misure verticali, avvalendosi dell'ausilio delle finestre. Per misurare l'altezza

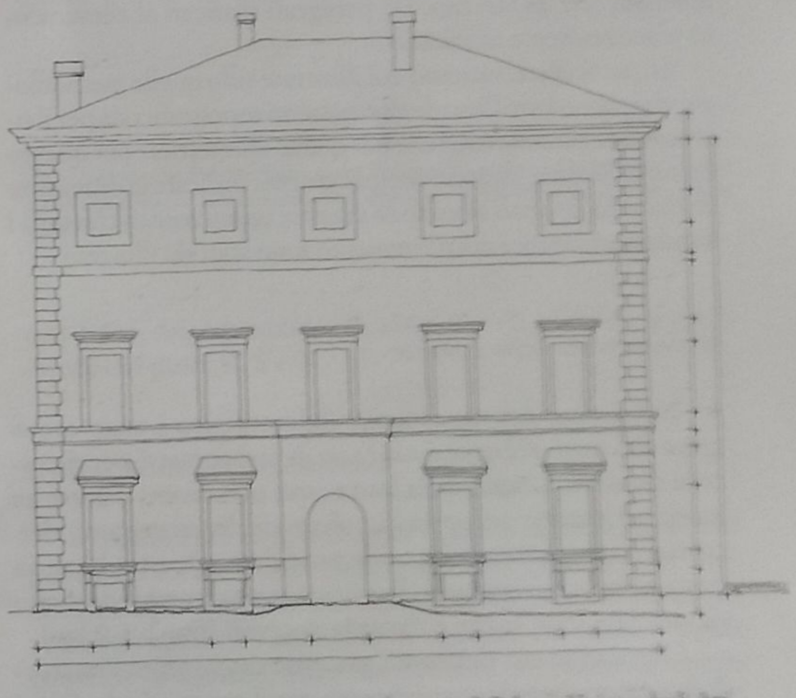


Fig. 50. Schizzo preparatorio per il rilevamento di Palazzo Viviani degli Atti, ora Pensi, a Todi.

complessiva, ci si serve di mezzi di sollevamento (scale, ponteggi), che consentono di arrivare al bordo superiore del cornicione. Tutte le misure in alzato vanno riferite ad un piano fondamentale di riferimento (caposaldo) e, anche in questo caso, le misure parziali definiscono le distanze fra i vari elementi architettonici della facciata. Quando questa risulta molto articolata da cornici, lesene e altri elementi, è indispensabile eseguirne una sezione verticale per determinare il valore degli aggetti: tutto ciò anche al fine di poter disegnare le due linee che definiscono lateralmente la facciata, poiché di solito gli aggetti architettonici continuano sui fianchi, cosicché i due profili laterali del prospetto sono simili alla sezione verticale normale alla facciata.

IL RILEVAMENTO STRUMENTALE

Si è già osservato come il rilevamento planimetrico e quello altimetrico si basino su diverse metodologie, alcune delle quali possono essere messe in atto sia con il metodo diretto, sia con quello strumentale, mentre altre vanno applicate impiegando esclusivamente strumenti topografici per la misura indiretta (cfr. *supra*, cap. IV, paragrafi dedicati al rilevamento planimetrico e altimetrico).

In particolare, saranno qui illustrate solo quelle metodologie che prevedono l'uso degli strumenti topografici sia per il rilevamento planimetrico che per quello altimetrico; per quanto riguarda le altre, saranno semplicemente indicate le differenze di impiego rispetto al metodo diretto, tenuto conto che tutti i fondamenti teorici del rilevamento sono stati già illustrati.

Il rilevamento delle distanze

Nel settore del rilevamento architettonico è stato ormai quasi del tutto abbandonato l'uso di tacheometri per rilevare le distanze, a causa della loro scarsa precisione, mentre ha avuto un grande sviluppo l'impiego di distanziometri elettronici o distanziometri a onde modulate. Questi ultimi, in particolare, sono in grado di assicurare una precisione molto elevata (± 1 cm), anche a distanze notevoli (fino a 1-2 km).

I distanziometri elettronici possono essere montati su teodoliti oppure inseriti coassialmente con il cannocchiale del tacheometro, formando un sistema che prende il nome di «stazione totale» (fig. III.27); l'impiego di questi strumenti non risulta particolarmente complesso, dal momento che tutta l'elaborazione dei dati rilevati è affidata al sistema elettronico dell'apparecchiatura. Per rilevare una distanza, occorre mettere lo strumento in posizione nel punto di partenza e posizionare il prisma riflettente, generalmente montato su cavalletto, nel luogo in cui si vuole conoscere la distanza dal punto di stazione. Il distanziometro, una volta inviata l'onda modulata, mostra su di un display la misura della distanza cercata.

Questo tipo di strumento può essere impiegato sia nella misurazione dei lati di una trilaterazione, sia in quella dei lati di una poligonale. Particolarmente utile si rivela l'impiego del distanziometro quando si desideri misurare la lunghezza dei lati di poligonali di inquadramento, esterne ed interne, di un edificio (cfr. figg. 51, 52).

Il rilevamento per intersezione

Tutte le volte che si debbono rilevare punti inaccessibili, come quelli posti su edifici molto alti, o sia necessario conoscere la larghezza di elementi posti a grande altezza, per esempio apparati decorativi inaccessibili, è indispensabile ricorrere al metodo dell'intersezione in avanti, già illustrato nei suoi fondamenti teorici nel cap. IV. Nel caso di punti inaccessibili sulla facciata di un edificio o di punti di controllo per i modelli fotogrammetrici, occorre individuare una base AB, rilevando le coordinate x, y, z dei due punti; posizionata quindi nei due estremi A e B una stazione totale o un tacheometro, si misurano tutti gli angoli di direzione (α_1, β_1, e α_2, β_2) e gli angoli zenitali (ζ_1 e ζ_2), dai due estremi della base dei punti da misurare. Il calcolo delle coordinate dei punti da rilevare può essere agevolmente eseguito su un PC, con programmi esistenti in commercio; alcune delle stazioni totali attualmente in uso, infatti, sono in grado di dialogare con un PC portatile, in quanto, collegando i due strumenti, il computer è in grado di registrare i valori angolari rilevati dalla stazione totale e di calcolare le coordinate dei punti da rilevare. Se poi il portatile è munito di un programma tipo Autocad, può fornire non solo le coordinate dei punti rilevati, ma anche effettuarne una rappresentazione sul suo schermo. Con questo metodo, il rilevatore è certo della corretta registrazione dei

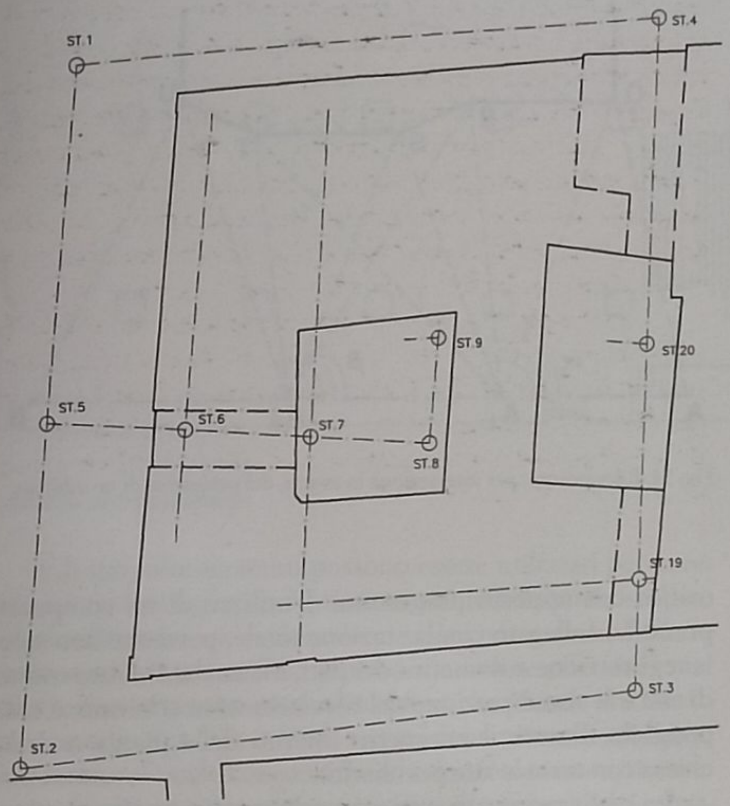


Fig. 51. L'Aquila, Palazzo Branconio. Poligonale esterna ed interna di inquadramento generale dell'edificio. Rilevamento M. Centofanti, V. De Masi, L. Zordan, con la collaborazione di V. Giusti.

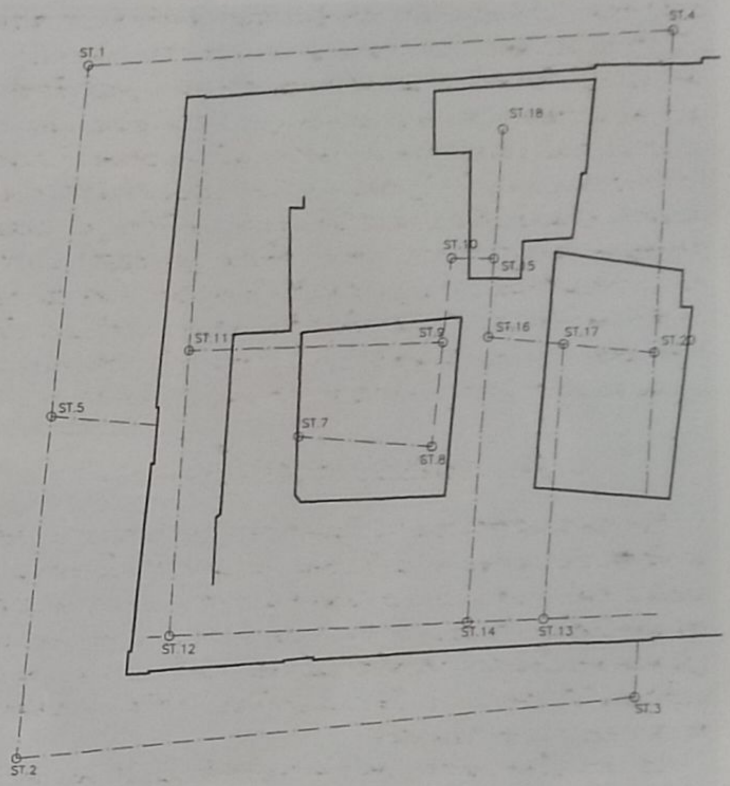


Fig. 52. L'Aquila, Palazzo Branconio. Poligonale esterna ed interna del primo piano dell'edificio. Rilevamento M. Centofanti, V. De Masi, L. Zordan, con la collaborazione di V. Giusti.

dati e della loro elaborazione, mentre la visualizzazione sullo schermo gli consente di valutare eventuali errori o dimenticanze di punti da rilevare (fig. 53a,b).

Il metodo dell'intersezione in avanti può essere impiegato anche per rilevare il perimetro di un edificio: in questo caso, facendo riferimento a una poligonale esterna di inquadramento, già tracciata e calcolata (fig. 54), si scelgono, sui lati di questa, alcuni punti intermedi (1, 2), utilizzando il lato AB della poligonale, come tante basi successive (A_1; A_2; ...); si collimano quindi dagli estremi di esse i punti R, S, T del perimetro dell'edificio e si misurano i valori angolari α_1, α_2, α_3 ecc. e β_1, β_2, β_3, se il rilevamento è effettuato sul piano orizzontale; altrimenti si deve rilevare anche l'angolo azimutale: con questi dati è possibile calcolare, per via analitica, le coordinate dei punti R, S e T.

Il rilevamento per irradiamenti

Il rilevamento di grandi spazi a pianta centrale, quali una piazza, un cortile o una chiesa, può essere eseguito, con buoni risultati, utilizzando una stazione totale posta in posizione centrale rispetto all'ambiente in oggetto. La stazione totale consente di rilevare, oltre alla distanza dei punti dal centro O, anche i valori angolari θ, cosicché il calcolo delle coordinate dei punti può essere svolto nuovamente per via infor-

a

b

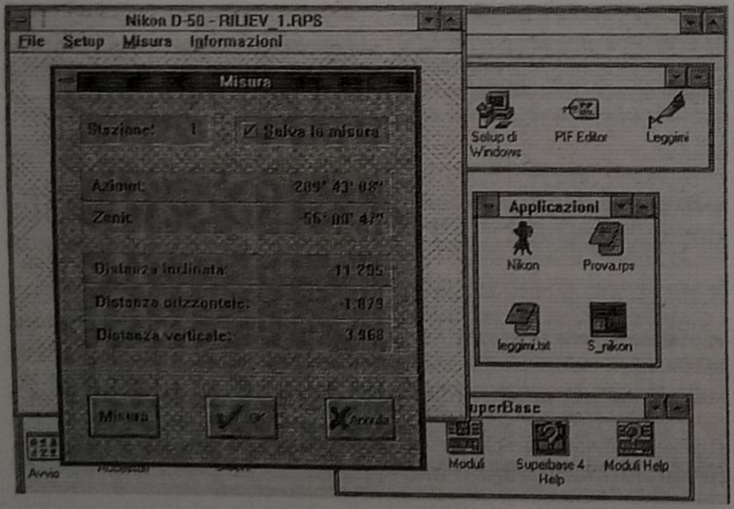


Fig. 53a,b. a) Strumento topografico Nikon D-50 collegato con computer portatile e b) finestra di dialogo dello strumento topografico.

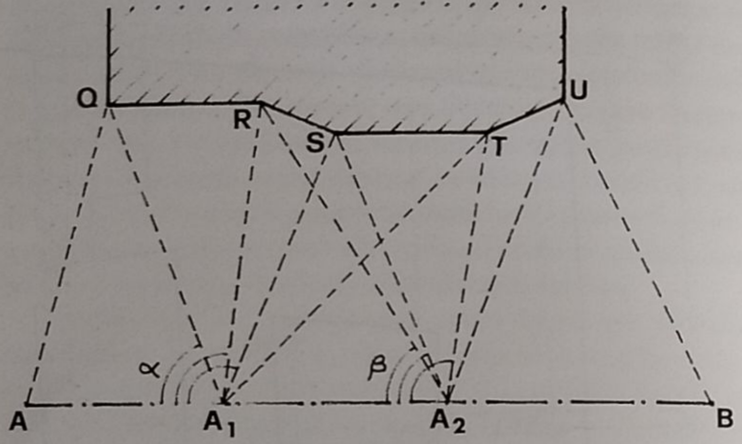


Fig. 54. Rilevamento, per intersezione in avanti, del perimetro di un edificio.

matica con appositi programmi. L'utilizzo di un computer portatile, collegato con la stazione totale, permette non solo la registrazione automatica dei dati, ma anche l'elaborazione di essi e la visualizzazione del rilevamento su schermo: è così possibile rilevare il perimetro interno della piazza o della chiesa con tutte le sue peculiarità.

La realizzazione di stazioni totali con distanziometri elettronici di maggiore potenza offre la possibilità, entro distanze brevi (30-40 ml), di eliminare il prisma riflettente, in quanto il raggio viene riflesso dalla parete o da altro elemento incontrato nel suo percorso. L'impiego di questo tipo di stazione totale permette di rilevare tutti i punti del perimetro interno di un ambiente, senza ricorrere al posizionamento di specchi riflettenti; in altre parole, l'operatore allo strumento può far ruotare il cannocchiale della stazione e realizzare la sezione orizzontale o verticale dell'ambiente in cui essa è installata. Come si può comprendere, si tratta di un rilevamento effettuato con il sistema delle coordinate polari: la stazione abbinata ad un PC portatile acquisisce i dati rilevati e trasforma le coordinate polari in coordinate cartesiane, cosicché tutti i punti rilevati possono essere restituiti e graficizzati. Con questo metodo, il rilevare la pianta di un grande ambiente, anche molto complesso, come ad esempio una chiesa, può essere un'operazione rapida ed estremamente precisa (fig. 55).

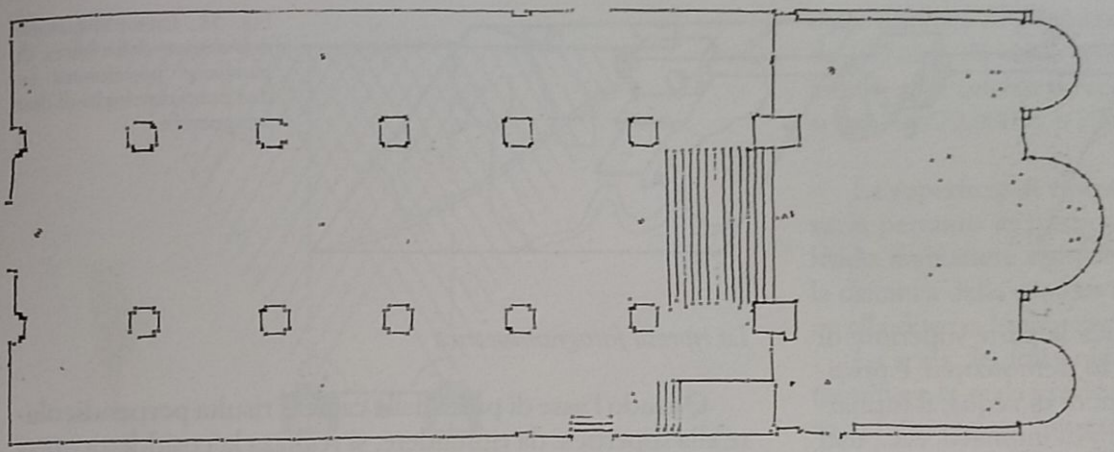


Fig. 55. Fossacesia (Chieti), Abbazia di San Giovanni in Venere. Rilevamento, con distanziometro elettronico, del perimetro interno della chiesa. Rilevamento R. Migliari.

Fig. 56. Stereoscopio Wild mod. APT 1, dotato di doppia coppia di oculari per l'analisi stereoscopica interdisciplinare. L'apparecchio è dotato di zoom avente rapporto 1:5.

Analisi stereoscopica

Gli stereofotogrammi possono essere utilizzati per la restituzione (cfr. *infra*), per ottenere un modello stereoscopico e per effettuare un'esplorazione visiva, sfruttando l'effetto stereoscopico stesso. Tale esplorazione viene effettuata mediante uno strumento molto semplice, che prende il nome di *stereoscopio* (fig. 56), il quale consta di un piano di appoggio luminoso sul quale vengono fissati i due fotogrammi, mentre un supporto sostiene una coppia di oculari muniti del relativo ingranditore, i quali rendono possibile l'osservazione del modello con ingrandimenti variabili tra 6 e 12 volte; i due fotogrammi posizionati sul piano luminoso inviano la loro immagine, attraverso un sistema di specchi, ai due oculari e l'osservatore non ha la percezione di due immagini piane, ma quella di un'unica immagine in rilievo (fig. 57). Una volta che la coppia dei due fotogrammi sia stata posizionata alla giusta distanza per creare il modello, l'operatore può prendere visione dell'immagine stereoscopica del soggetto, convenientemente ingrandita, che, grazie alle sue caratteristiche, consente un'analisi molto approfondita del soggetto stesso. In un certo senso, nella osservazione stereoscopica si viene a ricreare, in laboratorio, quel particolare rapporto tra il rilevatore e l'opera, tipico del rilevamento diretto. In alcuni casi, il forte ingrandimento e l'elevato grado di concentrazione permesso dall'analisi stereoscopica, danno la possibilità all'operatore di effettuare un'indagine forse più approfondita di quella realizzabile mediante un normale sopralluogo. Ad

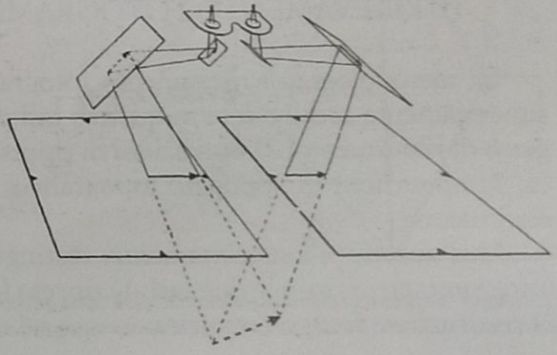


Fig. 57. Stereointerpretatore con supporto informatico ZTS/VM (con sistema di misura verticale). Schema di funzionamento di uno stereoscopio a specchio. A tratteggio la costruzione dell'immagine (virtuale) a rilievo.

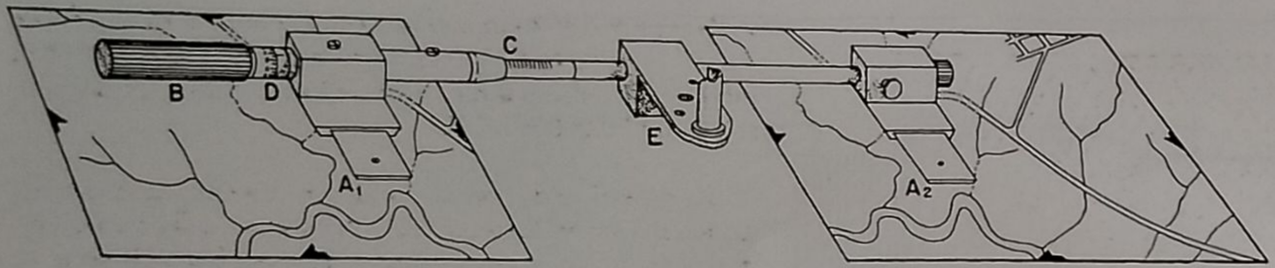


Fig. 58. Esemplificazione dell'utilizzo della barra di parallasse posizionata su due punti omologhi di due fotogrammi.

esempio, in un modello che riproduca la parte superiore di una facciata, se osservato attraverso lo stereoscopio, è possibile verificare la presenza di infiltrazioni di acqua, il formarsi di muschio, la presenza di distacchi di intonaco, ecc.; dati che sfuggono a una normale osservazione dal basso.

Attraverso lo stereoscopio è possibile inoltre non solo osservare lo stato di conservazione di un'opera, ma anche interpretare il soggetto, studiarne le forme ed effettuarne tutte le operazioni caratteristiche dell'analisi architettonica. Alcuni tipi di stereoscopi sono muniti di una barra di parallasse che, posizionata sui due punti omologhi dei due fotogrammi, consente di effettuare semplici operazioni di misura sul soggetto, ad esempio il calcolo della distanza tra due punti. La barra di parallasse (fig. 58) permette di misurare la differenza di parallasse di punti omologhi, inserendo il valore Δ nelle formule:

$$Y = \frac{b \cdot f}{\Delta} \qquad X = \frac{b \cdot x}{\Delta} \qquad Z = \frac{b \cdot z}{\Delta}$$

le coordinate del punto scaturiscono dal calcolo delle equazioni sopra riportate.

IL RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO

La metodologia di rilevamento fotogrammetrico si può sinteticamente suddividere in quattro fasi principali: 1) progetto di rilevamento; 2) operazioni di ripresa fotogrammetrica; 3) operazioni di appoggio topografico; 4) operazioni di restituzione.

Altri autori, più succintamente, distinguono il processo fotogrammetrico in sole due fasi: 1) ripresa fotogrammetrica; 2) restituzione fotogrammetrica.

La ripresa fotogrammetrica

Quando l'asse di presa della camera risulta perpendicolare alla superficie da riprendere, si realizza la cosiddetta *presa normale* (fig. 59); quando invece l'asse, per particolari condizioni, debba essere inclinato rispetto alla superficie da riprendere, si ha la cosiddetta *presa inclinata* (fig. 60); infine, quando sia necessario e possibile inclinare i due assi di ripresa fotografica rispetto alla superficie del soggetto, si ottiene la cosiddetta *presa convergente* (fig. 61). Gli attuali restitutori analitici possono restituire tutti i tipi di prese; pertanto non è più indispensabile, come avveniva in passato con i restitutori analogici, realizzare delle prese normali (con asse ottico ortogonale alla facciata); tuttavia se non vi sono ragioni particolari, è sempre consigliabile disporsi in condizioni prossime alla presa normale, anche se non è indispensabile assicurare la perfetta ortogonalità. Questa condizione di presa permette di avere minori superfici coperte da riprendere; infatti, elementi sporgenti dalla facciata, se fotografati obliquamente, si sovrappongono alle parti retrostanti coprendo una parte della superficie da rilevare.

Ai fini della scala grafica di restituzione, risulta particolarmente utile conoscere la *scala media* del fotogramma, che esprime il rapporto tra la dimensione del fotogramma e la dimensione reale rappresentata in esso. Il rapporto di scala medio è dato dalla seguente espressione:

$$1/s = f/D$$

In cui 1/s è il rapporto di scala; f è la distanza focale e D è la distanza media del soggetto dalla camera. In condizioni di presa normale di superfici pressoché piane, si può parlare di «scala» del fotogramma; ad esempio, una facciata ripresa

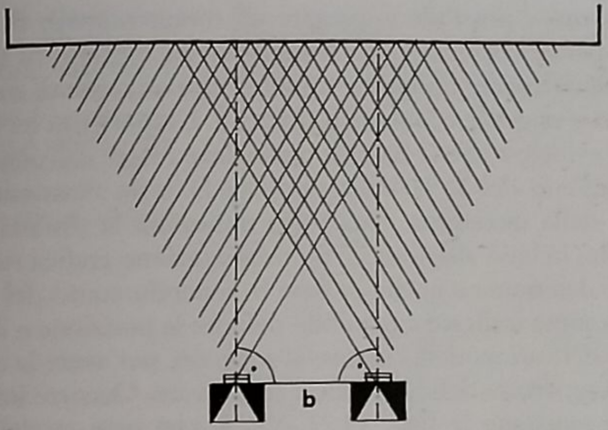


Fig. 59. Presa fotogrammetrica normale.

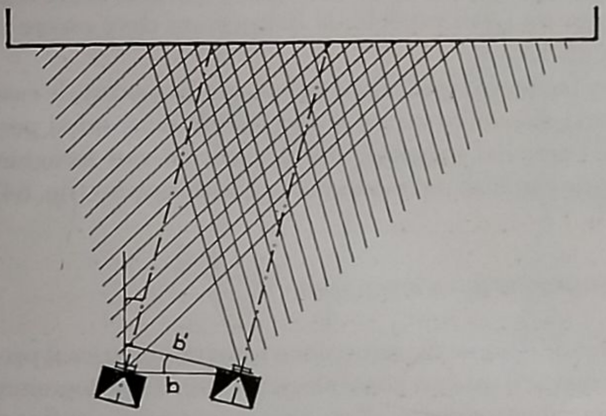


Fig. 60. Presa fotogrammetrica inclinata.

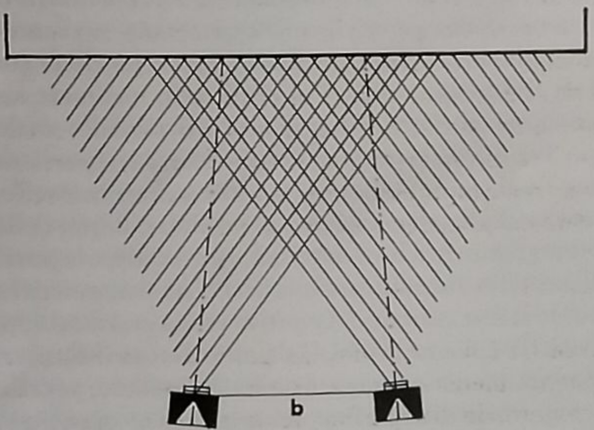


Fig. 61. Presa fotogrammetrica convergente.

dalla distanza di 20 m con una camera munita di una focale da 100 mm, dà luogo a un fotogramma che è in scala 1/200; infatti, se si calcola il rapporto tra focale e distanza di presa si ha: 100/20.000 = 1/200.

La superficie di ripresa abbracciata da una stessa camera varia pertanto in funzione della lunghezza della focale; volendo mantenere sempre costante la superficie abbracciata, la distanza della camera dal soggetto deve variare in relazione alla diversa lunghezza focale, come mostra la fig. 62.

La scala del fotogramma è l'elemento essenziale per determinare la scala grafica di restituzione: si deve tenere conto, infatti, che un fotogramma, sia pure osservato attraverso lo stereoscopio del restitutore, non può essere ingrandito oltre un certo limite, pena la perdita di definizione. Da ciò deriva, ad esempio, che un fotogramma in scala 1/200 non può essere utilizzato per restituzioni grafiche più grandi della scala 1/50; se, ad esempio, fosse richiesta una restituzione in scala 1/20, occorrerebbe avere dei fotogrammi almeno in scala 1/100. La pratica dimostra che il rapporto tra scala di restituzione e scala del fotogramma deve essere compreso tra 1/3 e 1/4. Nella redazione del progetto di ripresa è indispensabile pertanto conoscere innanzitutto la scala di restituzione, in modo da poter fissare la distanza massima a cui è possibile posizionare la camera di presa.

Per completare il progetto di lavoro, occorre anche definire la base b di presa, che deve essere in relazione alla distanza D dal soggetto; una base di presa molto ampia, ad

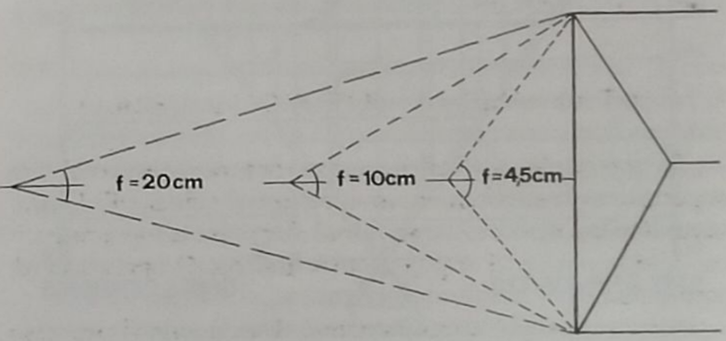


Fig. 62. Schema della variazione della distanza della fotocamera dal soggetto, in relazione alla diversa lunghezza focale.

esempio, favorisce la lettura stereoscopica dei fotogrammi, ma tale condizione fa diminuire la sovrapposizione di essi, come mostra la fig. 63. Risulta allora evidente che, diminuendo la base di presa, la parte comune ai due fotogrammi aumenta; ne consegue che la superficie utile ai fini della restituzione aumenta, facendo ovviamente diminuire i costi,

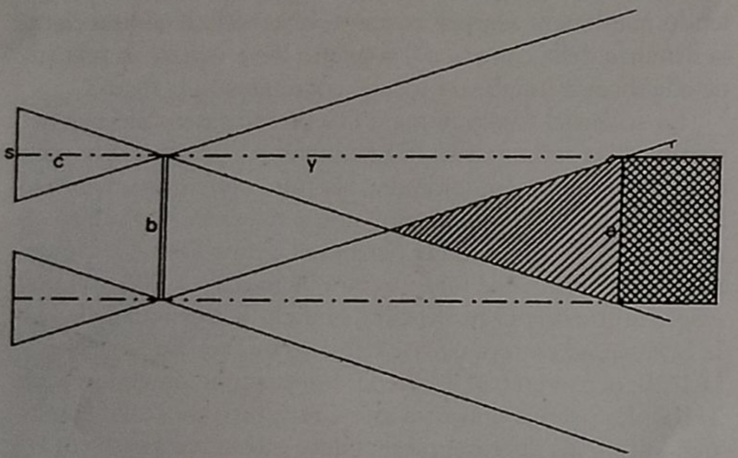


Fig. 63. Schema di sovrapposizione dei fotogrammi in relazione alla larghezza della base (b).

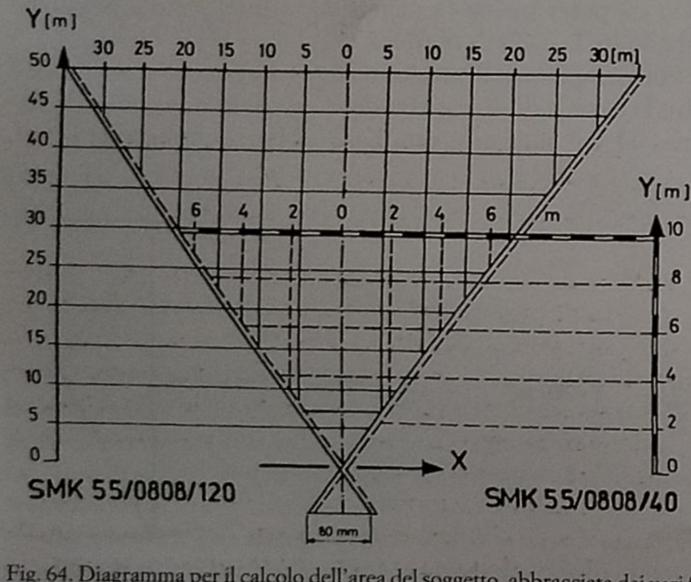


Fig. 64. Diagramma per il calcolo dell'area del soggetto, abbracciata dai vari fotogrammi in funzione della distanza dal piano di riferimento.

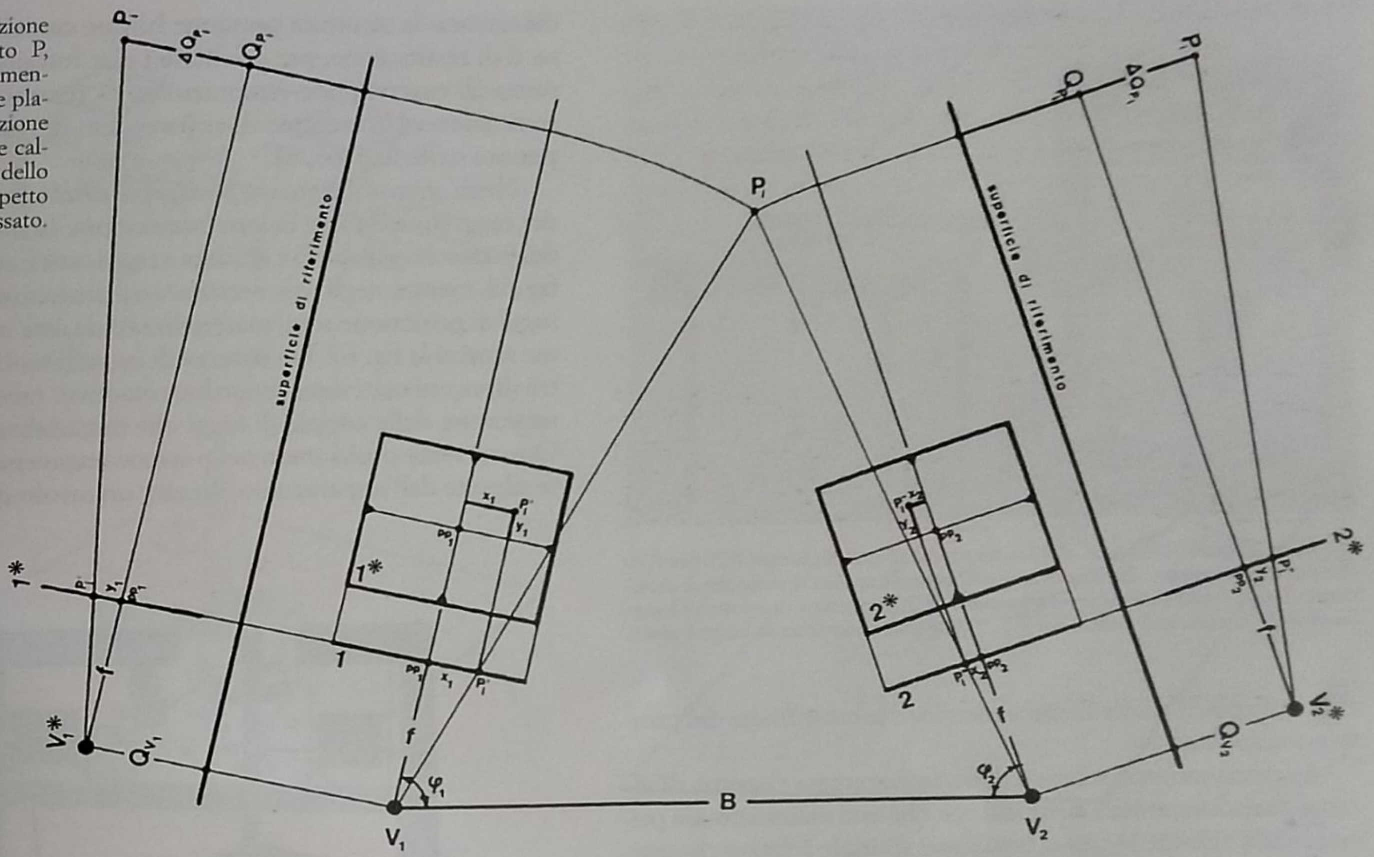
in quanto è possibile impiegare un minor numero di modelli per «ricoprire» tutto il soggetto da rilevare. Si tratta quindi di trovare un giusto equilibrio tra esigenze di stereoscopia e esigenze economico-pratiche. L'esperienza ha messo in evidenza che la base di presa deve essere calcolata tra un minimo del 15% della distanza D e un massimo del 33% della medesima. Una volta impostata la distanza D, definita in base alla scala di rappresentazione grafica richiesta, e determinata anche la base b, tenendo conto del rapporto sopra indicato è possibile definire la posizione e il numero dei vari modelli rispetto al soggetto, per avere la completa copertura della superficie da rilevare. Occorre infatti, come mostrano le figg. VI.23, VI.24, che ogni modello si sovrapponga a quello vicino, in modo da assicurare il collegamento tra i vari modelli; la ricopertura deve essere di almeno ml 1,5.

Per facilitare la redazione del progetto di presa, le case costruttrici di camere metriche forniscono diagrammi per calcolare l'area del soggetto, abbracciata dai vari fotogrammi, alle varie distanze dal piano del soggetto ripreso (fig. 64).

La restituzione fotogrammetrica

Prende il nome di restituzione fotogrammetrica il processo mediante il quale è possibile pervenire, dai fotogrammi di un determinato oggetto, alla sua rppresentazione grafica o numerica. Nella pratica, si possono distinguere tre diversi tipi di restituzione: quella *grafica speditiva*, ottenuta mediante semplici procedimenti grafici, quella *analogica*, prodotta con apparati di restituzione capaci di realizzare, mediante sistemi meccanici, ottici o ottico-meccanici, un modello analogico della presa e, infine, la *restituzione analitica*, cui si perviene con l'impiego del calcolo numerico, a partire dalle misure effettuate sul piano dei due fotogrammi. Gli ultimi sviluppi delle tecniche fotogrammetriche fanno anche intravedere la possibilià di realizzare restituzioni automatiche o semiautomatiche, allorquando la restituzione dei punti avvenga grazie ad apparati automatici o semiautomatici. Dal punto di vista della precisione, la fotogrammetria prende il nome di *speditiva*, per risultati metrici approssimativi; viene detta invece *normale*, quando l'apparecchio di restituzione consente di raggiungere una pre-

Fig. 65. Restituzione grafica, del punto P, mediante ribaltamento, della posizione planimetrica (intersezione dei raggi visuali) e calcolo della quota dello stesso punto P rispetto ad un piano prefissato.



cisione del disegno dell'ordine di 0,1 ÷ 0,2 mm; viene infine definita di *precisione*, quando si abbiano risultati numerici più elevati, dell'ordine di 0,01 mm.

La restituzione speditiva. Quando non si disponga di apparecchi di restituzione fotogrammetrica e non si abbia necessità di una grande precisione, è possibile utilizzare procedimenti grafici che, partendo dai due fotogrammi, consentano di ottenere restituzioni approssimative. Nei rilevamenti architettonici, può essere utile in alcuni casi applicare questi procedimenti, che consistono nel collocare i due fotogrammi a quadro verticale sul foglio da disegno, nella opportuna scala. Dopo aver posizionato i vertici V_1 e V_2 dei due punti di presa, alla distanza B tra essi, e i due fotogrammi alla distanza f da V_1 e V_2, la posizione planimetrica di un punto P_i è quella individuata dall'intersezione dei raggi visuali $V_1 P'_i$ e $V_2 P''_i$ (fig. 65). Con il ribaltamento del piano di profilo è anche possibile calcolare la quota del punto P_i.

Il metodo analogico di restituzione fotogrammetrica. L'operazione di restituzione analogica si esplica in due fasi: la prima, di piazzamento della coppia di fotogrammi nell'apparecchio di restituzione per formare il modello stereoscopico virtuale; la seconda, di esplorazione del modello di restituzione.

Nel piazzamento dei fotogrammi, occorre generalmente eseguire le seguenti operazioni:

a) inserimento, nella camera di proiezione del restitutore, dei dati relativi all'orientamento interno della camera metrica con cui si è effettuata la presa del soggetto; si ricorda che l'orientamento interno è noto quando si conoscono la di-

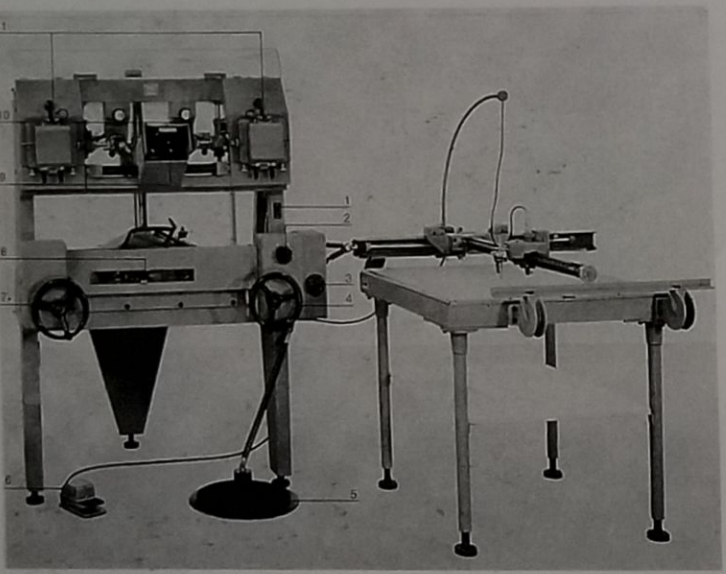


Fig. 66. Autografo Wild mod. A 40 con annesso tavolo da disegno 0,70 per 0,70 munito di pantografo. Il volante contraddistinto con il n. 4 permette il movimento lungo l'asse delle y, il volante con il n. 7 permette il movimento lungo l'asse delle x, mentre il pedale con il n. 5 permette il movimento lungo l'asse z.

stanza focale (f) della camera metrica e le coordinate del punto principale;

b) orientamento relativo di un fotogramma rispetto all'altro al fine di orientarli in modo tale che essi assumano, sia pure in scala ridotta, la stessa posizione spaziale relativa che avevano al momento della presa;

c) orientamento assoluto dei due fotogrammi, in modo da assicurare l'orientamento del modello nel sistema topografico terrestre, onde verificare che la giacitura orientata del modello stereoscopico sia complanare alla posizione spaziale dell'oggetto da restituire. Per effettuare l'orientamento assoluto, occorre che siano noti alcuni punti del soggetto, rilevati per via topografica, da collegare alle coordinate assolute. La rete di inquadramento, o punti di appoggio, consente anche di verificare la precisione delle misurazioni effettuate attraverso la restituzione.

Gli apparecchi di restituzione analogica si distinguono in apparati a proiezione ottica, a proiezione meccanica e a proiezione ottico-meccanica. Si tratta di strumenti spesso molto complessi, che concettualmente si possono così suddividere: a) una parte basamentale e una incastellatura, che ne difiniscono la struttura portante; b) due camere di proiezione o di restituzione, per orientare i due fotogrammi; c) il sistema di osservazione-esplorazione; d) il coordinamento di restituzione. Un esempio di apparecchio di restituzione è riportato nelle figg. 66, 67.

Negli *stereorestitutori a proiezione ottica*, la ricostruzione dei raggi proiettanti e la loro intersezione (materializzazione del punto da restituire) è affidata a raggi ottici, come mostra la fig. 68, mentre negli *stereorestitutori a proiezione meccanica*, i raggi di proiezione sono materializzati da aste metalliche, come mostra la fig. 69. Un sistema di carrelli mobili secondo le tre direzioni cartesiane (coordinatometro), raccoglie ogni intersezione delle coppie di raggi che materializzano il punto. Questo viene posizionato nello spazio attraverso le coordinate rilevate dall'apparecchio, mentre un tavolo da disegno au-

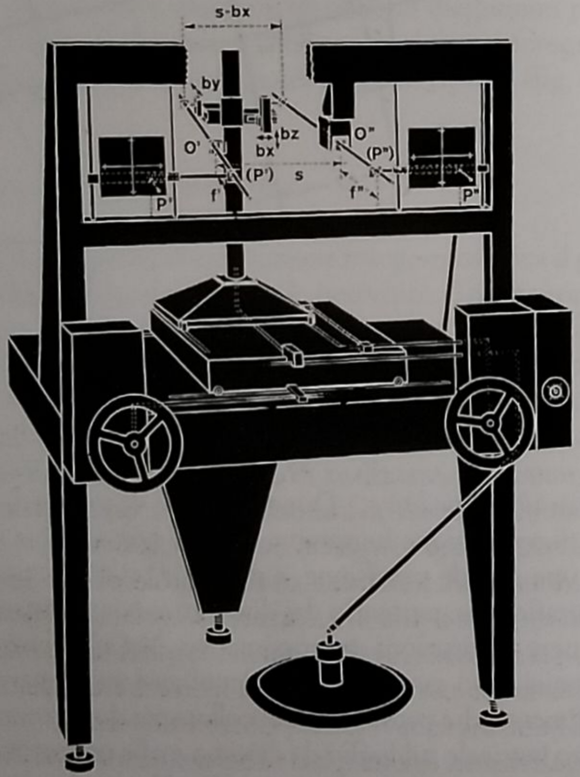


Fig. 67. Schema funzionale dell'autografo Wild mod. A 40. Si osservi la posizione degli stereogrammi e la ricostruzione dell'immagine virtuale del punto nello spazio.

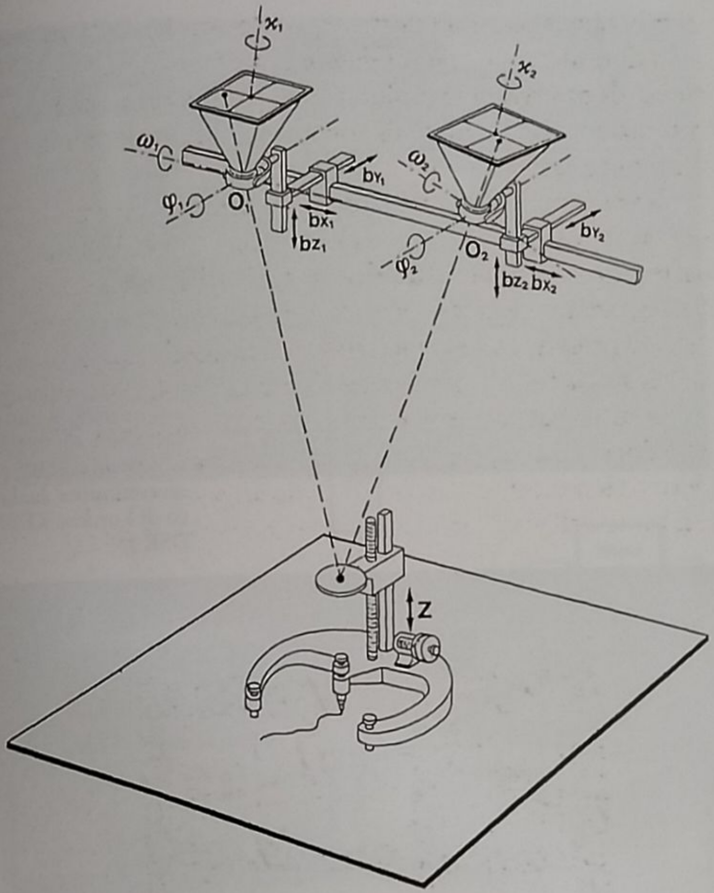


Fig. 68. Schema di restitutore a proiezione ottica.

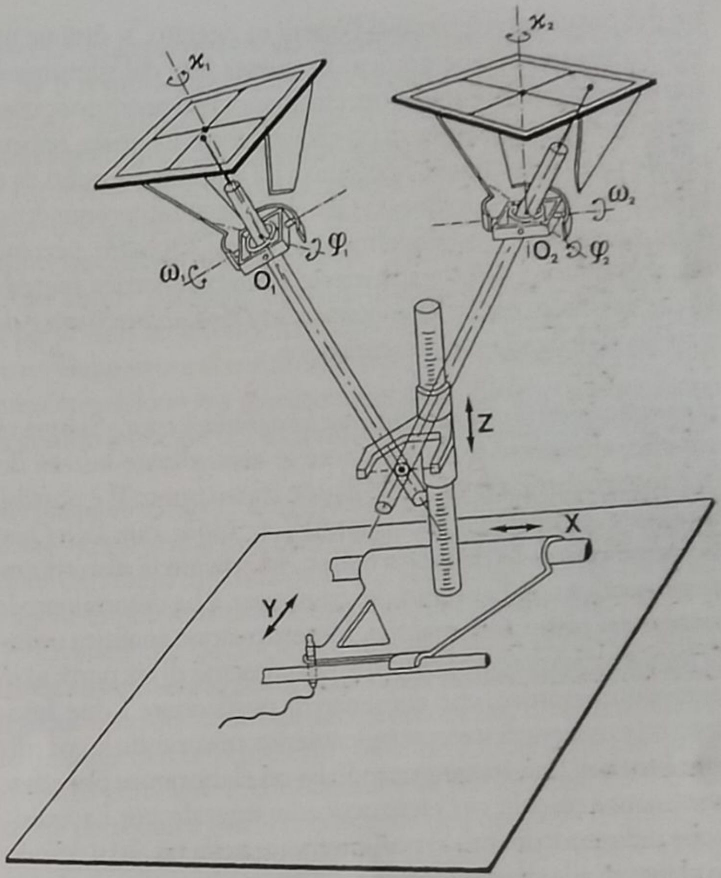


Fig. 69. Schema di restitutore a proiezione meccanica.

tomatico, collegato con il coordinatometro, traccia sulla carta la posizione del punto stesso. Nei restitutori analogici pertanto è possibile seguire una linea del soggetto, con tutte le sue peculiarità di andamento e giacitura, e avere la sua rappresentazione bidimensionale; si tratta, in altre parole, di un rilievo che non riduce la linea a una serie di punti singolari. In questo caso, pur acquisendo in fase di restituzione tutti e tre i parametri, essendo la rappresentazione affidata a un grafico bidimensionale, solo due coordinate possono essere utilizzate.

Particolare attenzione va posta nel definire la scala di riduzione fra i fotogrammi e la restituzione grafica. Per determinare esattamente tale scala di riduzione, si predispone sul tavolo da disegno del restitutore, nella scala di restituzione desiderata, il rilievo dei punti di appoggio determinati per via topografica. Quindi si effettua il collegamento tra il tavolo da disegno e il restitutore, imponendo la coincidenza tra i punti di appoggio riportati sul tavolo e quelli desunti dal modello ottico. Nei restitutori più moderni, l'esplorazione del modello ottico avviene per mezzo di una marca luminosa, spostabile nello spazio nelle tre direzioni cartesiane. L'operatore, agendo sui comandi del restitutore, sposta spazialmente la marca luminosa fino a farla coincidere con il punto che si vuole restituire; quindi si rilevano le coordinate del punto. La marca luminosa, o indice, è collegata meccanicamente o elettronicamente con un pantografo; pertanto se l'operatore esplora ad esempio una retta, il pantografo disegna una retta. Attraverso l'esplorazio-

ne dei punti caratterizzanti l'opera in oggetto, si ottiene una sua rappresentazione grafica. In questa fase del rilevamento fotogrammetrico, l'operatore che manovra il restitutore si trova nella stessa situazione di un rilevatore tradizionale, rispetto all'opera architettonica. Spettano a lui le scelte dei punti da rilevare, riconducendo questa fase del rilievo fotogrammetrico a un'operazione sostanzialmente critica. Occorre pertanto che l'operatore della restituzione fotogrammetrica inerente opere architettoniche sia a conoscenza dell'architettura e dei problemi della sua rappresentazione.

Il metodo analitico di restituzione fotogrammetrica. Si è già visto che, attraverso il calcolo, note le «coordinate-lastra» dei due fotogrammi, x e y e x' e y' di uno stesso punto P, è possibile trovare le coordinate del punto P (cfr. *supra*, cap. IV). Questo principio, noto da molto tempo, ha trovato la sua utilizzazione pratica con l'avvento del computer, e ha determinato la nascita dei restitutori analitici. La restituzione analitica utilizza uno strumento composto sostanzialmente di tre parti: a) lo stereocomparatore, che consente di posizionare i due fotogrammi e osservarli stereoscopicamente, misurando le coordinate-lastra di uno stesso punto P; b) un elaboratore per effettuare tutti i calcoli; c) l'elettrocoordinatografo per l'acquisizione delle coordinate. Si può osservare nella fig. 70 il principio relativo alla determinazione delle coordinate-lastra. I dati restituiti possono essere ricavati attraverso la lettura numerica dei dati o attraverso la registrazione automatica, per la rappresentazione grafica *on-line* oppure *off-line*. La precisione, nella lettura diretta delle coordinate-lastra, è notevole, se si pensa che essa è dell'ordine di 0,005 mm.

Nei restitutori analitici la restituzione avviene collimando con la marca luminosa i punti da restituire; poiché occorre sviluppare il calcolo punto per punto, non è possibile una restituzione in continuo di una linea; l'operatore dovrà pertanto suddividere la linea in un numero determinato di punti, che dall'elaboratore, attraverso il programma, dovranno essere raccordati, per disegnare sullo schermo o sul plotter la linea che li unisce. Si tratta di un procedimento che presenta alcune difficoltà, come quella di non poter seguire fedelmente una linea, senza prima averla scomposta in un numero elevatissimo di punti – ma che ha anche alcuni vantaggi, quali la memorizzazione di tutte le coordinate spaziali dei punti restituiti. Tali informazioni, se riversate in un elaboratore, consentono di avere rappresentazioni anche di tipo tridimensionale, con notevoli benefici nella lettura del manufatto.

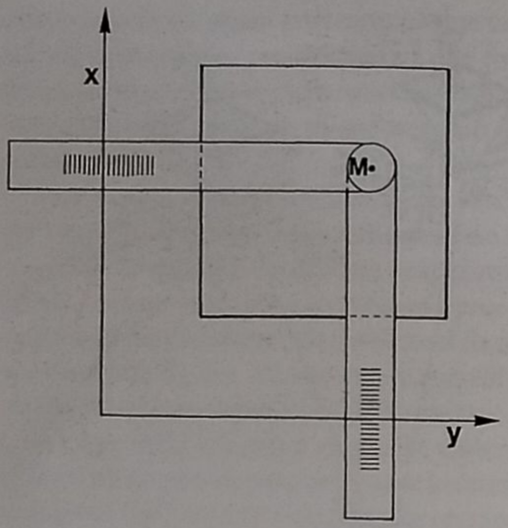


Fig. 70. Principio su cui si fonda la determinazione delle coordinate-lastra x, y di un punto.

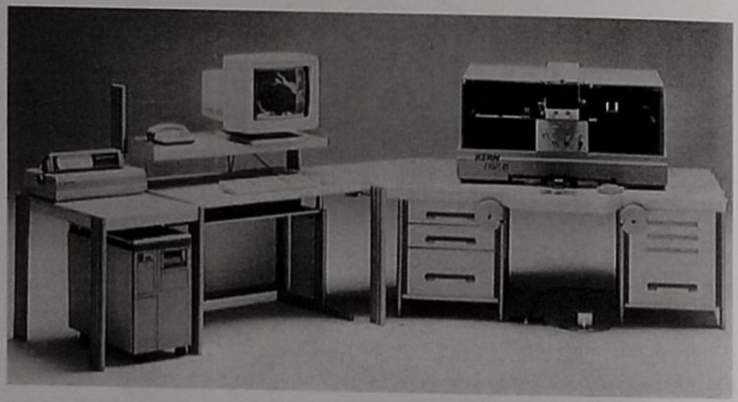


Fig. 71. Postazione informatica, per la fotogrammetria analitica, composta da stereorestitutore analitico di I ordine KERN DSR 15.

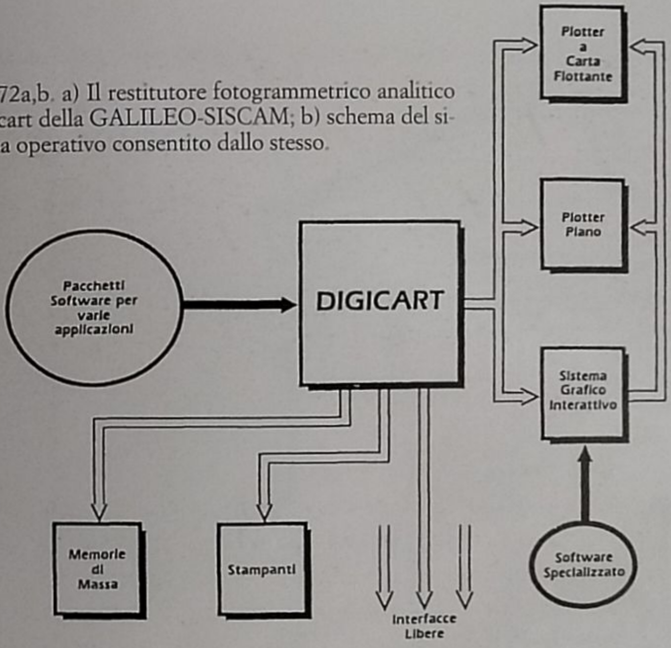
Per la maggior semplicità operativa, soprattutto in fase di orientamento dei modelli (è l'elaboratore stesso, infatti, che provvede a questa operazione), ma anche per il costo di produzione più contenuto, i restitutori analitici stanno sostituendo i più costosi restitutori analogici. Esempi di restitutori analitici sono riportati nelle figg. 71 e 72a,b.

La rappresentazione fotogrammetrica. Si è già osservato che la fase di restituzione coincide con quella della rappresentazione: occorre analizzare meglio il rapporto tra restitutore e rappresentazione. I restitutori permettono di ottenere diversi tipi

a

Fig. 72a,b. a) Il restitutore fotogrammetrico analitico Digicart della GALILEO-SISCAM; b) schema del sistema operativo consentito dallo stesso.

b



di rappresentazione e, a seconda delle esigenze, le restituzioni possono essere così definite: a) rappresentazione numerica; b) rappresentazione a tratto; c) rppresentazione a curve di livello; d) rappresentazione a curve di livello e a tratto.

Rappresentazione numerica. Ogni punto del soggetto da rilevare fotograficamente viene generalmente espresso numericamente, attaverso le coordinate cartesiane spaziali. Questo tipo di rilevamento si presta a elaborazioni grafiche successive. Se il restitutore è collegato con un elaboratore (stazione grafica), avendo a disposizione le coordinate cartesiane dei punti significativi del soggetto, è possibile ottenere, attraverso successive elaborazioni, non solo i grafici in doppia proiezione ortogonale (prospetti, sezioni, piante ecc.), ma anche rappresentazioni più complesse (assonometrie e prospettive). È inoltre possibile ricavare disegni a varie scale, sezioni di particolari architettonici o altri elaborati grafici. Abbinando un elaboratore al restitutore analitico, si viene a creare una interconnessione tra fotogrammetria e disegno automatico, di grande interesse per la conoscenza del manufatto (fig. 73).

Restituzione a tratto. L'oggetto viene riprodotto a tratto, nelle sue rappresentazioni ortogonali. In questo caso, la definizione del rilievo è in funzione della scala grafica di restituzione e anche in funzione dell'utilizzo del rilevamento (fig. 74).

Ovviamente questa scelta dipende dall'operatore, che si trova, rispetto al soggetto, nella stessa situazione del rilevatore tradizionale, dovendo egli decidere come far diventare discreto un soggetto che si presenti continuo. L'operatore può infatti, entro certi limiti, condizionare la restituzione con le sue scelte personali e con la conoscenza dell'opera da rilevare.

La qualità architettonica del soggetto può essere documentata, nella restituzione grafica, solo se l'operatore è fornito di una buona cultura architettonica e se conosce le tecniche della rappresentazione. Sono noti molti esempi di restituzione fotogrammetrica, in cui l'opera architettonica è restituita in modo tale da alterare le qualità formali.

Rappresentazione a curve di livello. Quando il soggetto presenta forme non geometriche, come ad esempio accade nelle sculture, si può effettuare una restituzione a mezzo di isoipse più o meno ravvicinate. Questo tipo di restituzione offre una visione più plastica del soggetto (fig. 75).

Rappresentazione a curve di livello e a tratto. Si tratta di un sistema misto che può essere impiegato nella restituzione di alcune opere, quando siano presenti nel soggetto elementi curvilinei non geometrizzabili (fig. 76).

Raddrizzamento. Un semplice fotogramma può essere uti-

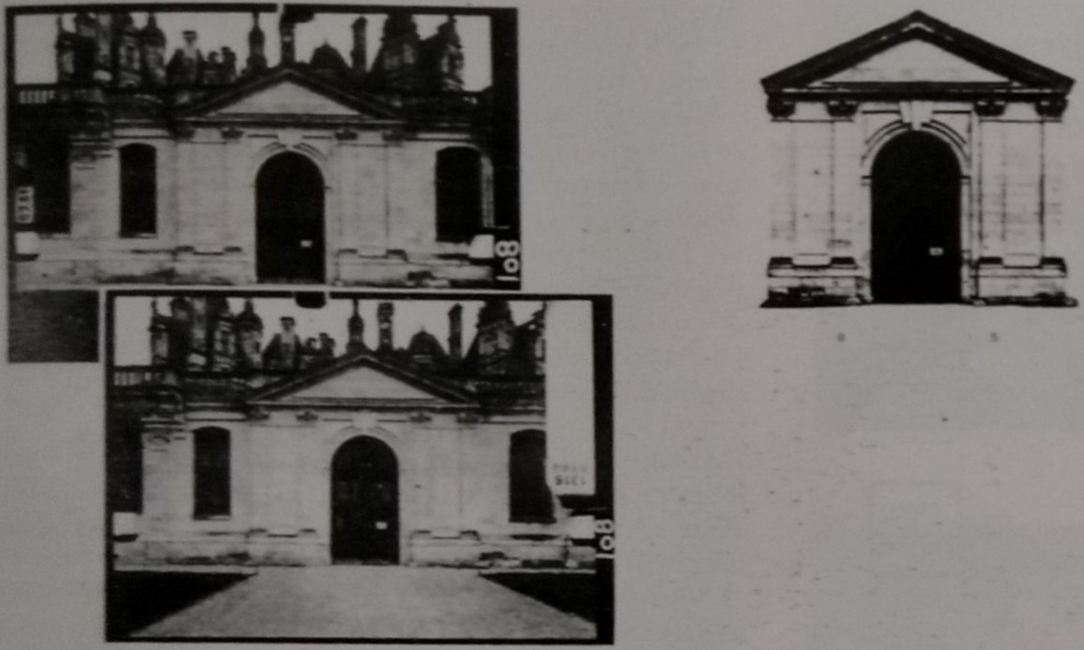


Fig. 73. Esempio di restituzione fotogrammetrica con rappresentazione numerica. Ciascun punto singolare del soggetto è definito mediante le sue coordinate cartesiane. Con successive elaborazioni, mediante l'ausilio di un elaboratore, è possibile ottenere diverse rappresentazioni grafiche del soggetto (Castello di Chambord, porta Reale, a cura del ministero della Cultura e dell'Ambiente, Inventario generale dei monumenti e delle ricchezze artistiche della Francia).

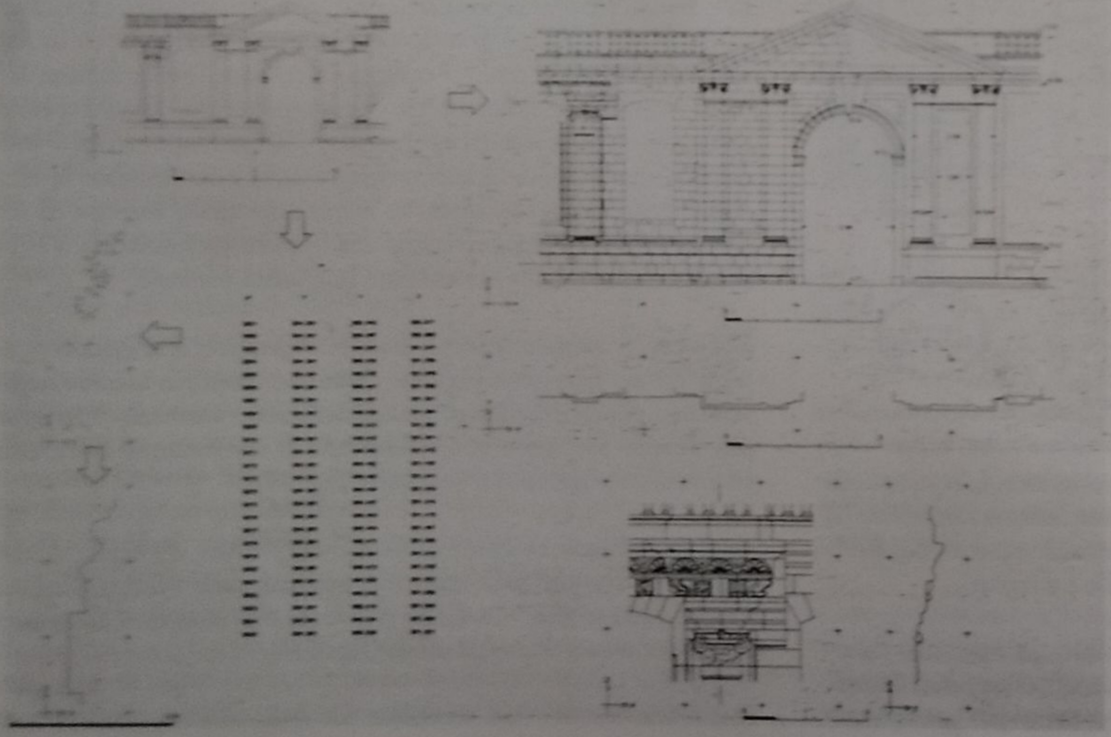


Fig. 74 (*a fronte*). Duomo di Modena. Rilevamento fotogrammetrico della facciata.

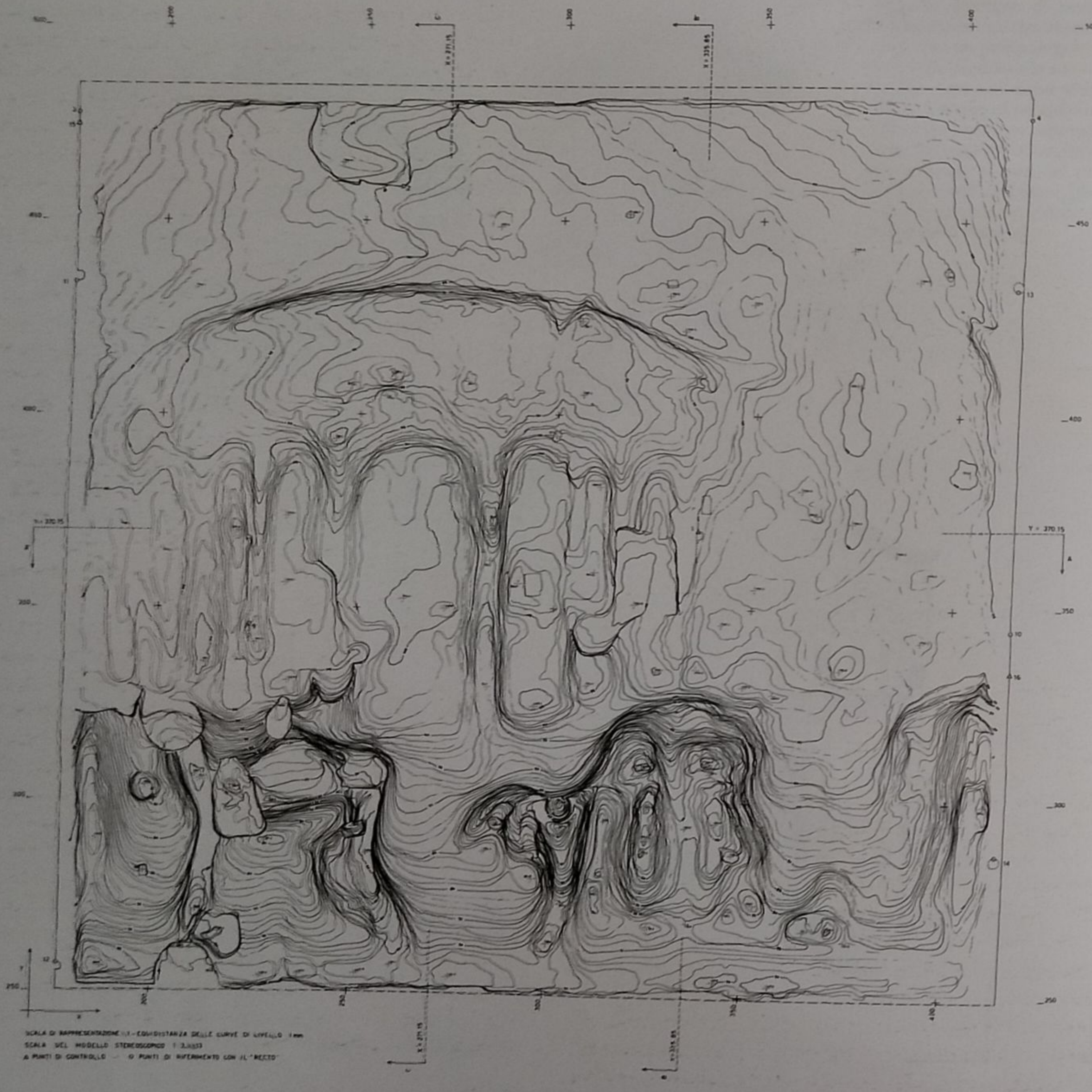


Fig. 75. Firenze, Battistero di San Giovanni, porta del Paradiso. Formella delle storie di san Giuseppe; rappresentazione grafica del «verso» della formella stessa (curve di livello equidistanti 1 mm).

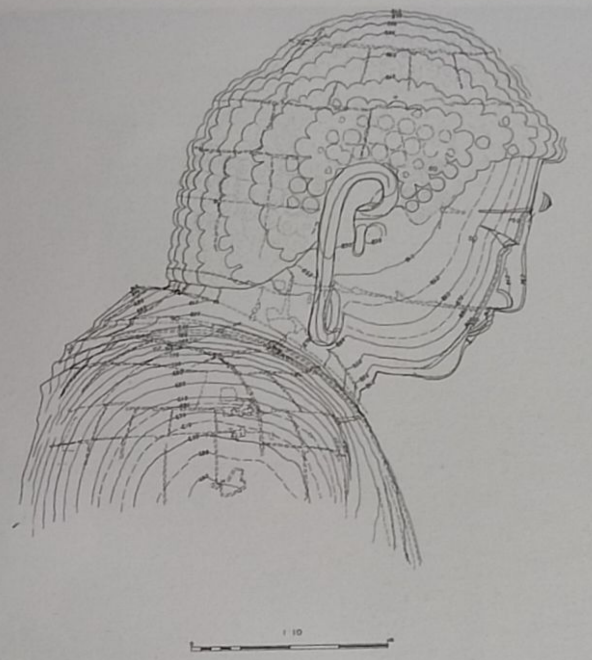


Fig. 76. Rilevamento fotogrammetrico del «Grande Budda di Kamakura» (Institute of Industrial Science, University of Tokio).

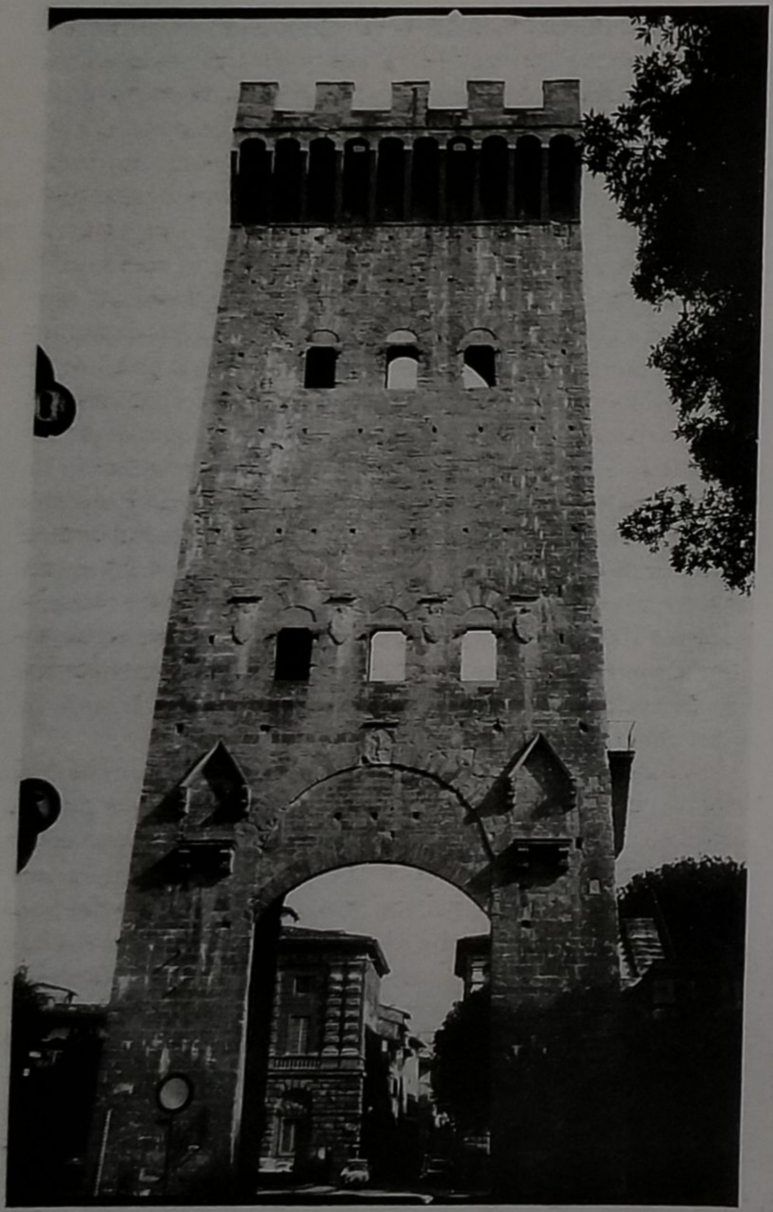
lizzato per fini metrici, ad esempio quando si debbano ricavare misure dal fotogramma stesso, solo se l'oggetto fotografato è una superficie piana e se l'asse ottico della macchina fotografica, al momento della presa, è stato posto perpendicolarmente al piano del soggetto da riprendere. È noto infatti che, se il soggetto da fotografare è articolato su più piani le parti in primo piano appariranno nel fotogramma più grandi di quelle in secondo piano; al fine di rendere misurabile un fotogramma ciò rende l'operazione molto più complessa, dovendo tener conto di questo fenomeno tipico di tutte le proiezioni centrali. Se l'asse ottico della camera è perpendicolare alla parete da riprendere, il fotogramma riproduce la facciata senza distorsioni, e pertanto offre una rappresentazione in scala ridotta del soggetto; nota la scala di riduzione del fotogramma, è possibile effettuarvi delle misure e risalire alle dimensioni oggettive.

Quando l'asse ottico è inclinato rispetto alla parete piana, si ha un'immagine in cui alcuni elementi risultano deformati; in particolare le rette parallele nel soggetto, sul fotogramma risultano convergenti; in questi casi per utilizzare il fotogramma a fini metrici può essere utile l'impiego del cosiddetto raddrizzamento. Il principio teorico messo in atto in tale procedimento è quello di ricreare in laboratorio un sistema proiettivo, che trasformi un fotogramma (ad esempio, di una facciata piana), ripreso con qualunque inclinazione, in una fotografia ripresa con asse ottico perpendicolare alla facciata (fig. 77a,b).

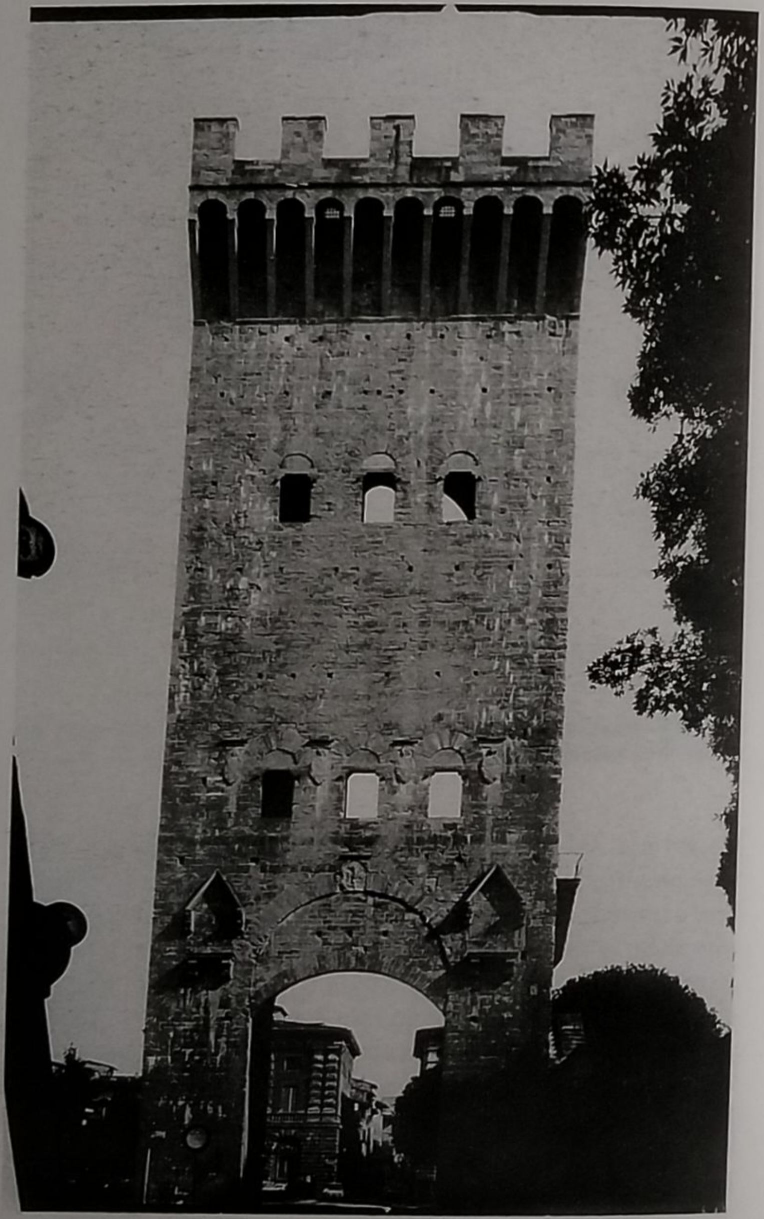
Il raddrizzamento del fotogramma viene effettuato con uno strumento concettualmente molto simile a un ingranditore fotografico, dotato però di alcune particolarità, tra le quali quella di variare l'ingrandimento del fotogramma e quella di poter inclinare in tutte le direzioni il piano di proiezione (fig. 78). In altre parole, il raddrizzatore consente di proiettare l'immagine del negativo su un piano, disposto parallelamente alla facciata da cui il fotogramma è stato ripreso. Nel raddrizzamento la lastra viene inclinata dello stesso angolo (rispetto al piano di proiezione) che aveva il fotogramma al momento della presa (fig. 79a,b). Spostando parallelamente il piano di proiezione, si potranno ottenere fotografie più grandi o più piccole del prospetto, ma sempre rigorosamente ortogonali.

Avendo rilevato in precedenza almeno quattro punti non allineati del soggetto, è possibile con il raddrizzatore prefissare i quattro punti, nella scala voluta, sul piano di proiezione e quindi far coincidere questi con i corrispondenti punti proiettati sul fotogramma. Con ciò ci si assicura sia del perfetto rapporto di scala, che dell'esattezza metrica del risultato. Con questo sistema è possibile rilevare i prospetti creando delle fotocarte in scala 1/50 o 1/100. Tale tipo di rappresentazione consente il rilievo di tutte le misure contenute sul piano della facciata, con notevole precisione, tanto da poter sostituire la normale rappresentazione grafica del prospetto. La semplicità del procedimento, anche se necessita di strumenti molto costosi, lo rende particolarmente utile nella catalogazione del patrimonio architettonico, tenendo conto che la fotografia raddrizzata fornisce utili informazioni anche sullo stato di conservazione dei manufatti.

Raddrizzamento digitale. Anche in questo settore l'avvento dell'informatica ha cambiato notevolmente le procedure, dal momento che sono disponibili sul mercato moltissimi softwa-



a



b

Fig. 77a,b. a) Presa fotogrammetrica inclinata; b) raddrizzamento dell'immagine del fotogramma precedente.

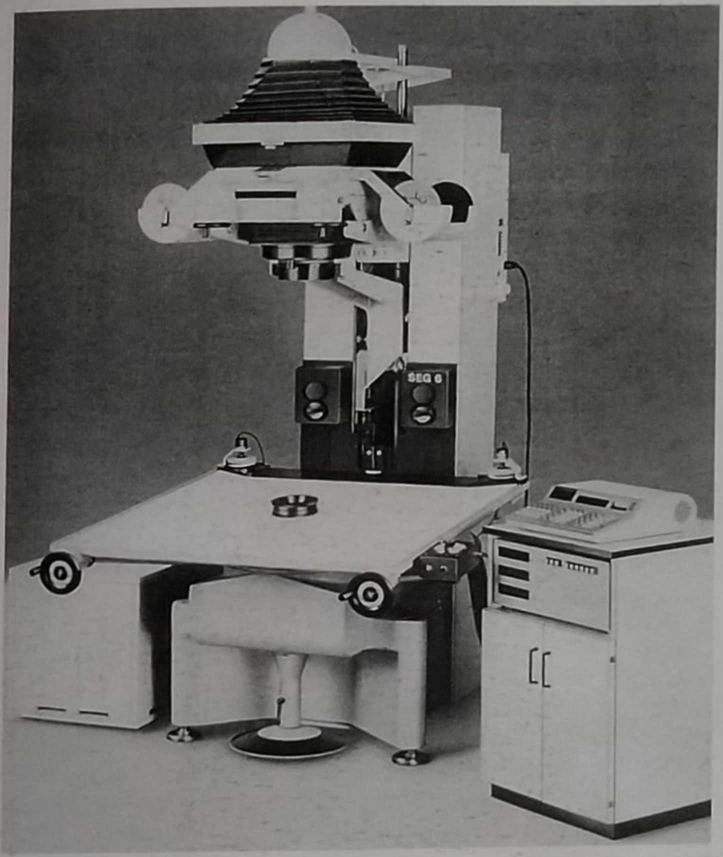
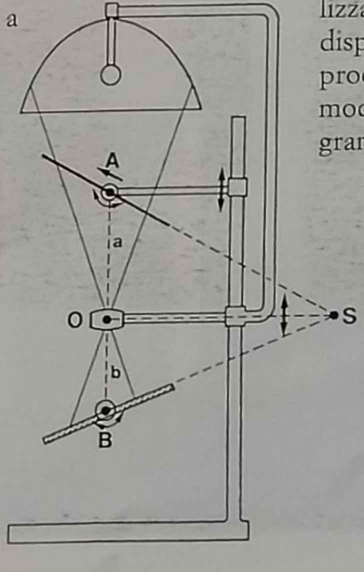


Fig. 78. Raddrizzatore Zeiss, mod. SEG 6, con regolazione automatica dei punti di fuga, per la trasformazione di fotogrammi, con focale fino a 610 mm.



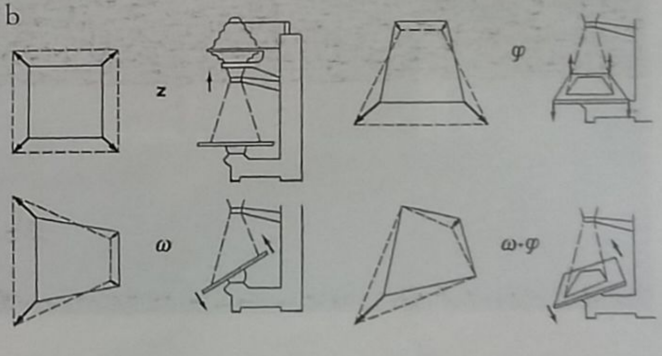


Fig. 79a,b. a) Verifica delle condizioni di Newton e di Scheimpflug in un raddrizzatore fotogrammetrico; b) effetti della regolazione di un apparato raddrizzatore.

re dedicati al raddrizzamento di foto digitali ed anche alla realizzazione di veri e propri fotopiani. Per questo tipo di rilevamento, molto rapido ed anche molto economico, è necessario disporre di una buona fotocamera digitale ad alta definizione, di tipo semiprofessionale, per effettuare le riprese fotografiche, di un teodolite, per rilevare almeno cinque punti di appoggio per ciascun fotogramma, e di un computer con un software per il raddrizzamento dei singoli fotogrammi. Il programma, dopo aver acquisito in forma digitale un fotogramma, chiede all'operatore di immettere le coordinate dei punti di controllo e, a questo punto, è ormai in grado di effettuare non solo il raddrizzamento, ma anche di riportare la foto digitale alla scala desiderata, in modo da avere un'immagine in scala 1/50 o 1/100 in relazione alle esigenze.

Quando sia necessario utilizzare più immagini (fig. 80) per ricoprire l'opera da rilevare, vi sono alcuni software di raddrizzamento che consentono di collegare i vari fotogrammi; ovviamente i punti di controllo delle singole immagini debbono avere tutti la stessa origine. I programmi di cui sopra, di facile utilizzo, possono essere utilizzati agevolmente anche dagli studenti (fig. 81).

Fotomosaici. Quando un solo fotogramma non è in grado di abbracciare tutto il soggetto da rilevare, si deve ricorrere ad un sistema di essi, che ricopra tutto il soggetto; con un'opportuna sovrapposizione tra i diversi fotogrammi, si può realizzare un mosaico controllato. In questo caso, dopo aver predisposto il progetto di dislocazione dei singoli fotogrammi, si procede al rilevamento dei punti di controllo, dislocandoli in modo tale che alcuni di essi siano in comune tra due fotogrammi; quindi si procede al raddrizzamento di ogni foto-

Fig. 80 (*a fronte*). Chiesa di Sant'Eligio dei Fabbri o Ferrai, foto raddrizzata.

Fig. 81. Chiesa di Sant'Eligio dei Fabbri o Ferrai, restituzione grafica del prospetto. Elaborazione D. Benedetto, V. Della Chiesa.

gramma; si giustappongono i fotogrammi raddrizzati sui punti di controllo, si eliminano le sovrapposizioni tra le diverse immagini, tagliando le parti superflue, si fissano gli spezzoni risultanti sul supporto, accertandosi della perfetta corrispondenza con i punti di controllo; infine si procede alla realizzazione fotomeccanica di un negativo – da utilizzare successivamente per la riproduzione e la stampa del mosaico controllato –, che può essere impiegato sia nella realizzazione di prospetti di singoli edifici, sia per il rilievo delle cortine stradali (figg. 82, 83).

Nel rilevamento del territorio, vengono impiegate particolari forme di raddrizzamento, dette «raddrizzamento dif-

Fig. 82. Chalon-Sur-Seine (Francia). Documentazione fotogrammetrica approntata per il piano di salvaguardia della città. Particolari di un fotopiano riguardante le facciate «des rues du Châtelet et Saint Vincent». Rilevamento «Institut Géographique National de France pour les services techniques de la Ville de Chalon-Sur-Seine», ingegnere, urbanista N. Muller.

Fig. 83. Budapest (Ungheria). Documentazione fotogrammetrica approntata per interventi di conservazione. Piazza Dimitrov, sviluppo di facciata, derivato da assemblaggio di fotogrammi raddrizzati. Rilevamento Istituto di Geodesia e di Geotecnica di Budapest (S. Simonkovics).

ferenziale» o «ortofotografia», che prevedono la scomposizione dell'oggetto da rilevare in tante piccole unità, per tener conto della diversa distanza dal centro di proiezione[1]. Il raddrizzamento differenziale o ortofotografia comincia, sia pure in via sperimentale, a essere applicato anche nel campo del rilevamento architettonico, benché i primi risultati non siano ancora pienamente soddisfacenti.

IL RILEVAMENTO DI PARTICOLARI ARCHITETTONICI E COSTRUTTIVI

Nell'ambito del rilevamento, la conoscenza dei dettagli architettonici e costruttivi acquista notevole importanza, specie per gli edifici appartenenti a particolari periodi.

Vi sono opere composte di dettagli architettonici[2], che risultano cioè dall'armonica composizione di elementi in loro stessi conclusi (aventi quasi valore di scultura), come ad esempio i templi greci; vi sono architetture in cui il dettaglio è intima parte dell'insieme e solo nell'insieme trova piena capacità espressiva, mentre ve ne sono altre che, in un certo senso, quasi non ammettono i dettagli, ad esempio le piramidi: nelle prime, è relativamente facile individuarli, anche se solo nell'opera essi trovano il giusto valore; nelle seconde, invece, il dettaglio non è mai perfettamente isolabile dal resto dell'edificio[3]. L'osservazione attenta a questo proposito, può portare a interessanti risultati: ad esempio, a constatare che ogni epoca aveva un proprio modo di intendere, progettare e realizzare i particolari architettonici e di definire la relazione dettaglio-materiale-struttura.

La definizione dei dettagli quindi va analizzata quasi opera per opera e appare utile per scopi espositivi e didattici; essa può essere estesa, a fini analitici, ad aspetti meno espliciti, non materiali, che tuttavia hanno un'importanza fondamentale nella lettura e nella conoscenza di un organismo architettonico, ad esempio la scansione in altezza e la partitura che gli elementi architettonici creano in facciata. Nel prospetto di un edificio, altezza e larghezza definiscono il campo totale; l'altezza delle fasce marcapiano individua delle sottozone, nell'ambito delle quali trovano precisa posizione dei dettagli architettonici, che a loro volta possono considerarsi elementi finiti e complessi, utili per lo studio di ulteriori dettagli (cornici, modanature, taglio dei conci ecc.)[4]; si tratta di un processo di lettura, di studio e di graficizzazione che va dal generale al particolare e da questo a ulteriori dettagli.

Spesso nel dettaglio si riscontrano specifiche soluzioni strutturali, tecnologiche e decorative, da mettere in relazione con le maestranze, con il progettista, con un peculiare periodo artistico, e quindi la documentazione di questi valori deve essere puntuale.

In presenza di elementi lapidei, devono essere fatte attente osservazioni per documentare i materiali, il taglio dei conci, le incavature e le connessioni di vario genere. Quando un dettaglio si presenta deteriorato, si può «rilevarlo» facendo riferimento ad altri analoghi, nell'ambito della stessa opera e, in casi speciali, facendo ricorso se possibile ad altre opere dello stesso periodo, dello stesso architetto e dello stesso luogo, specie per quanto concerne elementi architettonici modanati, naturalmente trascrivendo il tutto con grafia propria. Per tutti i dettagli vi devono essere dei grafici generali di riferimento e ognuno di essi deve avere una sigla di collegamento con quelli d'insieme.

Quando l'opera architettonica presenta notevole complessità di forme, è quasi impossibile procedere con rilievi d'insieme, come quelli finora descritti. Basta osservare, ad esempio, il prospetto di un edificio barocco, per rendersi conto dell'impossibilità di rappresentare, in un prospetto in scala 1:100, tutti i dettagli che costituiscono la caratteristica di una facciata di tale periodo. In questi casi si ricorre al cosiddetto *rilievo di dettaglio*, che provvede a rilevare alcuni elementi architettonici, considerandoli come opere a se stanti. Queste operazioni vengono effettuate durante il rilevamento generale e normalmente devono essere collegate a esso, attraverso annotazioni riportate sui disegni generali. Anche le misure vanno prelevate in modo tale da potersi integrare le une con le altre, al fine di costruire un complesso organico di dati.

L'eidotipo di un particolare architettonico non differisce da quelli sin qui descritti, se non per la diversa scala di rappresentazione. Nel rilievo di dettaglio si usano scale molto grandi, da 1:20 a 1:10, 1:5 fino a 1:1. Dovendosi, in questi casi, rilevare opere quasi sempre dotate di notevole valore storico-artistico, occorre che il rilevatore sia dotato di una buona conoscenza della storia dell'architettura, per «leggere lo spirito» degli elementi architettonici e per non incorrere in

Fig. 82. Chalon-Sur-Seine (Francia). Documentazione fotogrammetrica approntata per il piano di salvaguardia della città. Particolari di un fotopiano riguardante le facciate «des rues du Châtelet et Saint Vincent». Rilevamento «Institut Géographique National de France pour les services techniques de la Ville de Chalon-Sur-Seine», ingegnere, urbanista N. Muller.

Fig. 83. Budapest (Ungheria). Documentazione fotogrammetrica approntata per interventi di conservazione. Piazza Dimitrov, sviluppo di facciata, derivato da assemblaggio di fotogrammi raddrizzati. Rilevamento Istituto di Geodesia e di Geotecnica di Budapest (S. Simonkovics).

ferenziale» o «ortofotografia», che prevedono la scomposizione dell'oggetto da rilevare in tante piccole unità, per tener conto della diversa distanza dal centro di proiezione[1]. Il raddrizzamento differenziale o ortofotografia comincia, sia pure in via sperimentale, a essere applicato anche nel campo del rilevamento architettonico, benché i primi risultati non siano ancora pienamente soddisfacenti.

IL RILEVAMENTO DI PARTICOLARI ARCHITETTONICI E COSTRUTTIVI

Nell'ambito del rilevamento, la conoscenza dei dettagli architettonici e costruttivi acquista notevole importanza, specie per gli edifici appartenenti a particolari periodi.

Vi sono opere composte di dettagli architettonici[2], che risultano cioè dall'armonica composizione di elementi in loro stessi conclusi (aventi quasi valore di scultura), come ad esempio i templi greci; vi sono architetture in cui il dettaglio è intima parte dell'insieme e solo nell'insieme trova piena capacità espressiva, mentre ve ne sono altre che, in un certo senso, quasi non ammettono i dettagli, ad esempio le piramidi: nelle prime, è relativamente facile individuarli, anche se solo nell'opera essi trovano il giusto valore; nelle seconde, invece, il dettaglio non è mai perfettamente isolabile dal resto dell'edificio[3]. L'osservazione attenta a questo proposito, può portare a interessanti risultati: ad esempio, a constatare che ogni epoca aveva un proprio modo di intendere, progettare e realizzare i particolari architettonici e di definire la relazione dettaglio-materiale-struttura.

La definizione dei dettagli quindi va analizzata quasi opera per opera e appare utile per scopi espositivi e didattici; essa può essere estesa, a fini analitici, ad aspetti meno espliciti, non materiali, che tuttavia hanno un'importanza fondamentale nella lettura e nella conoscenza di un organismo architettonico, ad esempio la scansione in altezza e la partitura che gli elementi architettonici creano in facciata. Nel prospetto di un edificio, altezza e larghezza definiscono il campo totale; l'altezza delle fasce marcapiano individua delle sottozone, nell'ambito delle quali trovano precisa posizione dei dettagli architettonici, che a loro volta possono considerarsi elementi finiti e complessi, utili per lo studio di ulteriori dettagli (cornici, modanature, taglio dei conci ecc.)[4]; si tratta di un processo di lettura, di studio e di graficizzazione che va dal generale al particolare e da questo a ulteriori dettagli.

Spesso nel dettaglio si riscontrano specifiche soluzioni strutturali, tecnologiche e decorative, da mettere in relazione con le maestranze, con il progettista, con un peculiare periodo artistico, e quindi la documentazione di questi valori deve essere puntuale.

In presenza di elementi lapidei, devono essere fatte attente osservazioni per documentare i materiali, il taglio dei conci, le incavature e le connessioni di vario genere. Quando un dettaglio si presenta deteriorato, si può «rilevarlo» facendo riferimento ad altri analoghi, nell'ambito della stessa opera e, in casi speciali, facendo ricorso se possibile ad altre opere dello stesso periodo, dello stesso architetto e dello stesso luogo, specie per quanto concerne elementi architettonici modanati, naturalmente trascrivendo il tutto con grafia propria. Per tutti i dettagli vi devono essere dei grafici generali di riferimento e ognuno di essi deve avere una sigla di collegamento con quelli d'insieme.

Quando l'opera architettonica presenta notevole complessità di forme, è quasi impossibile procedere con rilievi d'insieme, come quelli finora descritti. Basta osservare, ad esempio, il prospetto di un edificio barocco, per rendersi conto dell'impossibilità di rappresentare, in un prospetto in scala 1:100, tutti i dettagli che costituiscono la caratteristica di una facciata di tale periodo. In questi casi si ricorre al cosiddetto *rilievo di dettaglio*, che provvede a rilevare alcuni elementi architettonici, considerandoli come opere a se stanti. Queste operazioni vengono effettuate durante il rilevamento generale e normalmente devono essere collegate a esso, attraverso annotazioni riportate sui disegni generali. Anche le misure vanno prelevate in modo tale da potersi integrare le une con le altre, al fine di costruire un complesso organico di dati.

L'eidotipo di un particolare architettonico non differisce da quelli sin qui descritti, se non per la diversa scala di rappresentazione. Nel rilievo di dettaglio si usano scale molto grandi, da 1:20 a 1:10, 1:5 fino a 1:1. Dovendosi, in questi casi, rilevare opere quasi sempre dotate di notevole valore storico-artistico, occorre che il rilevatore sia dotato di una buona conoscenza della storia dell'architettura, per «leggere lo spirito» degli elementi architettonici e per non incorrere in

false interpretazioni. Il disegno dovrà pertanto essere eseguito con molta cura, rispettando le proporzioni dell'elemento in esame, al fine di interpretarne correttamente la forma (fig. 84). Un esempio di eidotipo di dettaglio è riprodotto nella fig. 85: si noti come gli schizzi relativi ai vari elementi siano ricollegati a un grafico d'insieme.

Per quanto concerne la conformazione, il disegno di un particolare si comporrà di almeno un prospetto e di una pianta. In questo tipo di grafici tuttavia rivestono particolare importanza le sezioni, dette anche «profili», poiché forniscono quasi tutte le informazioni necessarie per la comprensione di un elemento. Non vi è dubbio infatti che, se si effettua una sezione verticale (profilo verticale-sezione retta) di una cornice ad andamento orizzontale, questa fornisce tutti i dati necessari per comprenderla e per rappresentarla, anche in prospetto e in pianta. Nel rilievo di dettaglio si fa pertanto largo uso di profili, non solo verticali, ma anche orizzontali o inclinati, per risolvere i diversi problemi. È evidente ad esempio che una cornice ad andamento verticale sarà perfettamente rappresentata da un profilo orizzontale.

Per effettuare il prelievo delle misure, si inizia rilevando le distanze orizzontali dagli aggetti. Dalla sommità più sporgente della cornice (fig. 86) si cala un filo a piombo, dal quale, con un'asta metrica dotata di livella, si misurano tutte le distanze dei vari aggetti. Successivamente si passa al prelievo delle altezze, sostituendo al filo a piombo un'asta metrica con l'origine posta nel punto più alto della cornice (fig. 87); tenendola in posizione verticale e utilizzando regoli muniti di livella, si riportano sulla fettuccia i punti caratteristici della cornice. In quest'ultimo tipo di rilievo può essere utile impiegare il sistema delle misure progressive, ricavando eventualmente, se necessario a tavolino, le distanze parziali. Il metodo delle distanze parziali può essere utilizzato con cornici molto semplici, nelle quali il numero delle misure da rilevare sia limitato. Se queste ultime interessano una cornice ad andamento verticale (fig. 88), sia essa una parasta o un'imbotte, si dispone un regolo sulla faccia esterna della medesima; quindi si rilevano tutte le distanze tra i vari aggetti e il regolo (misure della profondità) e successivamente si prendono le misure in larghezza, che possono essere lette direttamente sul dettaglio architettonico o riportate sul regolo a mezzo di una proiezione ortogonale.

Un altro caso di cornice ad andamento verticale è quello rappresentato nella fig. 89, dove appare lo stipite di una finestra: il prelievo delle misure è qui facilitato dall'impiego di una squadra da muratore, che permette di rilevare sia gli aggetti che le distanze orizzontali.

Per eseguire il rilievo di un profilo inclinato, occorre accertarsi che il suo piano di sezione risulti perpendicolare all'andamento della cornice: ciò accade ad esempio tutte le volte che si voglia avere un rilievo di dettaglio di un timpano (fig. 90). Il rilievo degli aggetti potrà allora essere effettuato con l'ausilio del filo a piombo, anche se la verticale di esso non appartiene al piano di sezione. Infatti, poiché le misure degli aggetti rimangono inalterate, è lecito usare questo metodo. Non altrettanto può dirsi per la misura delle altezze, che devono essere effettuate in corrispondenza del piano di sezione prescelto per il disegno del profilo. Per prendere le misure in altezza ci si serve di regoli e di squadre, in modo da poter effettuare il rilievo sul piano inclinato.

Particolare cura va posta nel rilevamento di colonne, data la loro conformazione non sempre riconducibile a forme geometriche semplici (fig. 91): come è noto, non sempre il fusto è assimilabile a un semplice cilindro, ma presenta sovente una rastremazione (entasi); per rilevarlo si possono seguire due distinti metodi, consistenti entrambi nel determinare il diametro della colonna in quattro punti caratteristici: alla base, alla sommità, a 1/3 e a 2/3 del fusto. Il primo metodo consiste nel rilevare con la fettuccia, nei quattro punti specificati, la circonferenza della colonna e nel ricavarne il diametro, utilizzando la formula del cerchio (se si utilizza un diametrometro la lettura del diametro è immediata). Il secondo metodo, più laborioso, consiste nel calare due fili a piombo, posti alle estremità di un diametro della colonna, e nel rilevare le distanze tra il filo e quest'ultima, nei quattro punti sopra indicati. Il diametro della colonna è individuato sottraendo, dalla distanza intercorrente tra i due fili a piombo, i due aggetti (I). Una volta noti i quattro diametri, il fusto della colonna è determinato e potrà essere correttamente rappresentato.

Il rilievo dei capitelli presenta alcune difficoltà supplementari, dal momento che non tutti gli elementi che li costituiscono sono riconducibili a forme geometriche elementari. Infatti, come è a tutti noto, alcune parti dei capitelli sono costituite da elementi a carattere decorativo, come foglie, volute, fi-

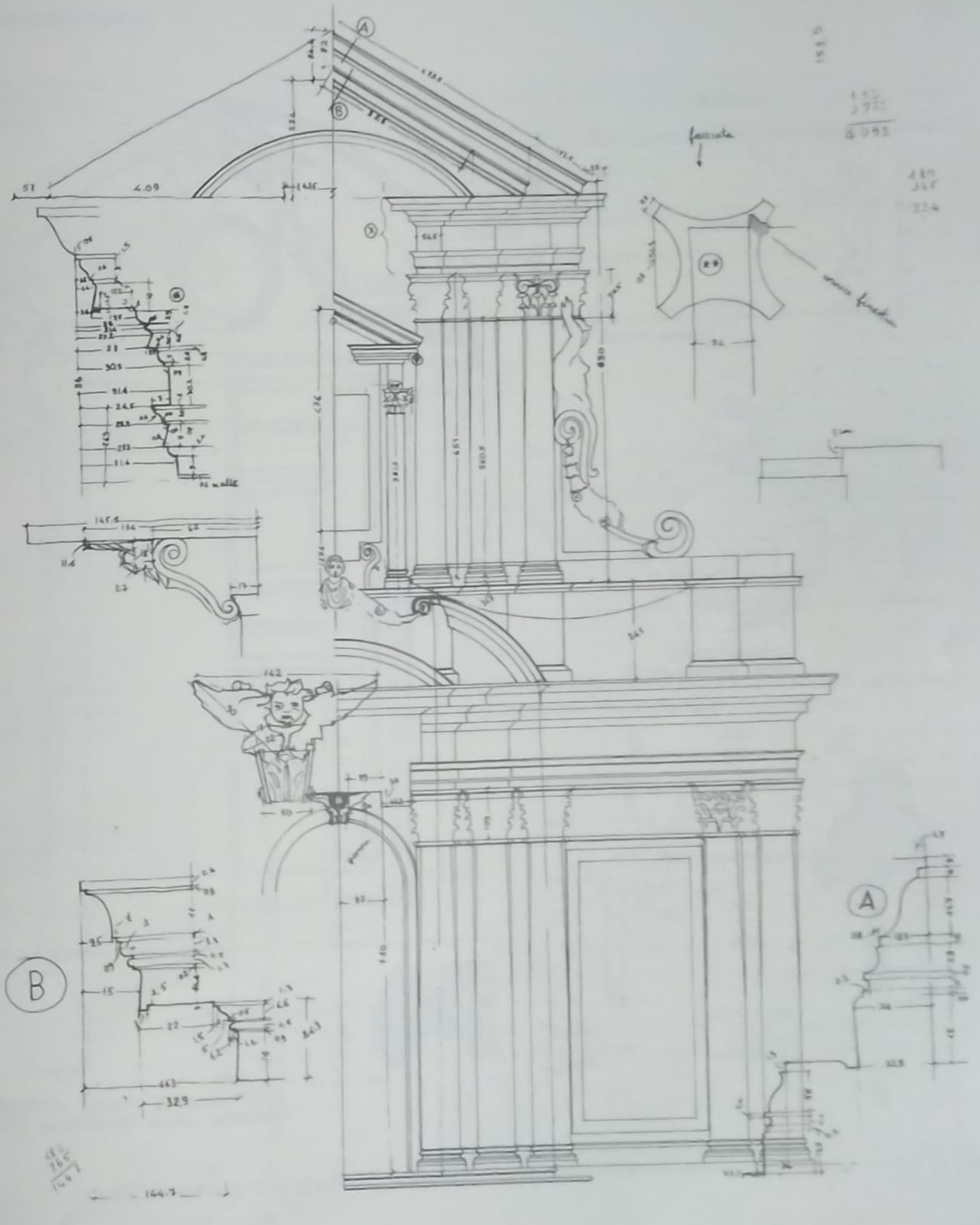


Fig. 84. Schizzo preparatorio per il rilevamento della facciata e di alcuni particolari architettonici della chiesa dei Santi Vincenzo e Anastasio in Roma, di M. Longhi il Giovane. Rilevamento V. Rizzi.

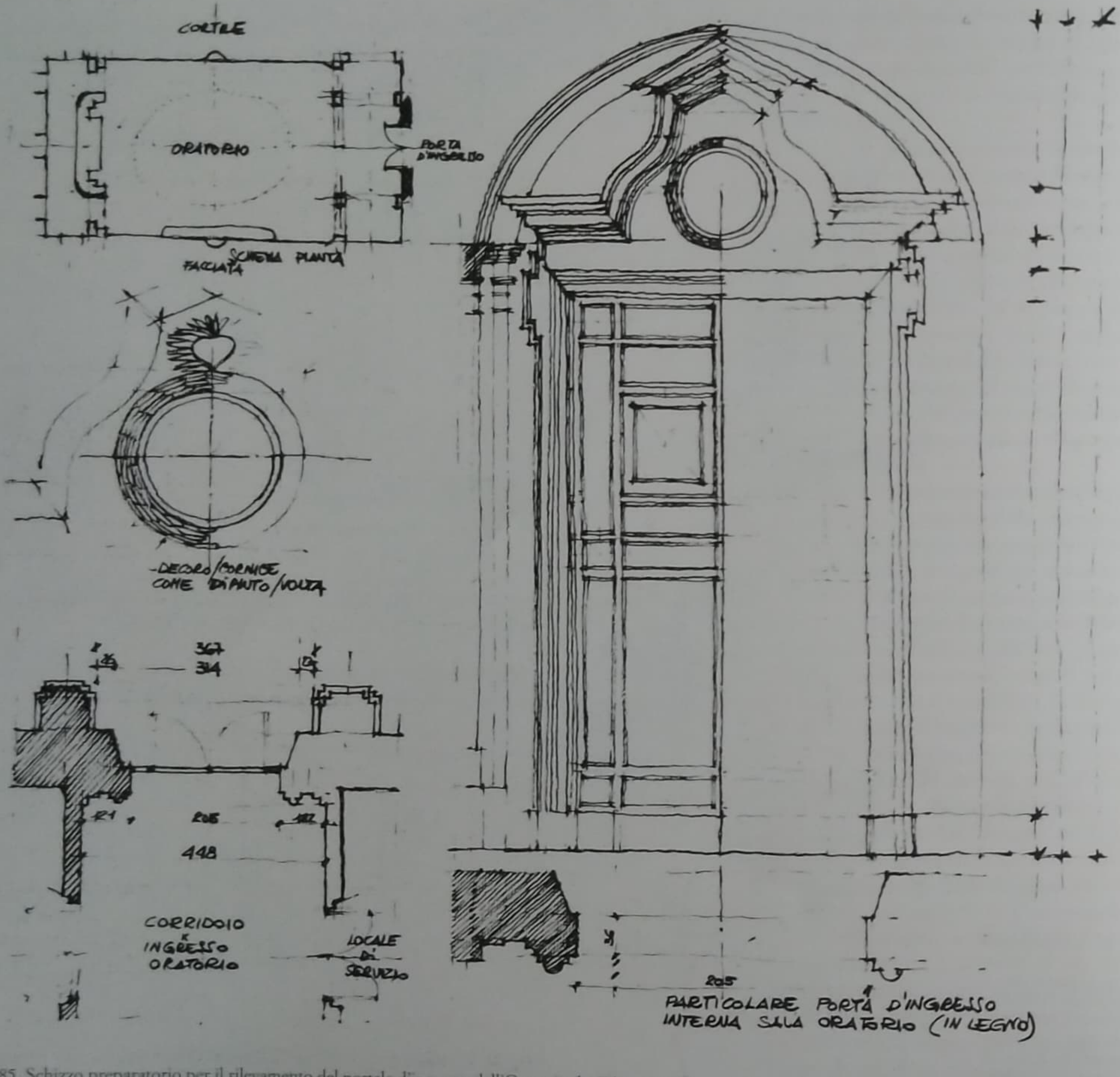


Fig. 85. Schizzo preparatorio per il rilevamento del portale d'ingresso dell'Oratorio dei Filippini in Roma. Disegno E. Chiavoni.

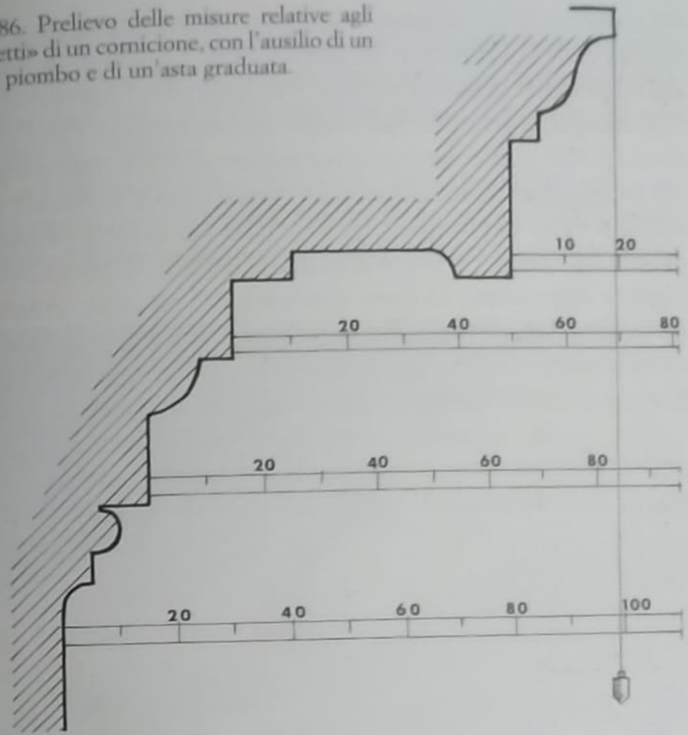


Fig. 86. Prelievo delle misure relative agli «aggetti» di un cornicione, con l'ausilio di un filo a piombo e di un'asta graduata.

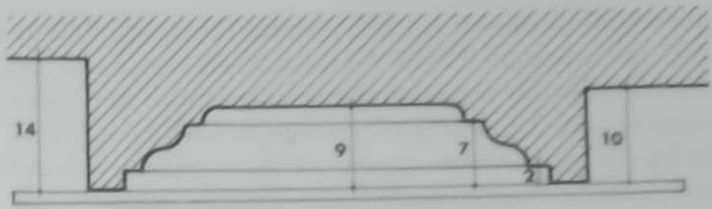


Fig. 88. Misurazione della sezione orizzontale di una parasta.

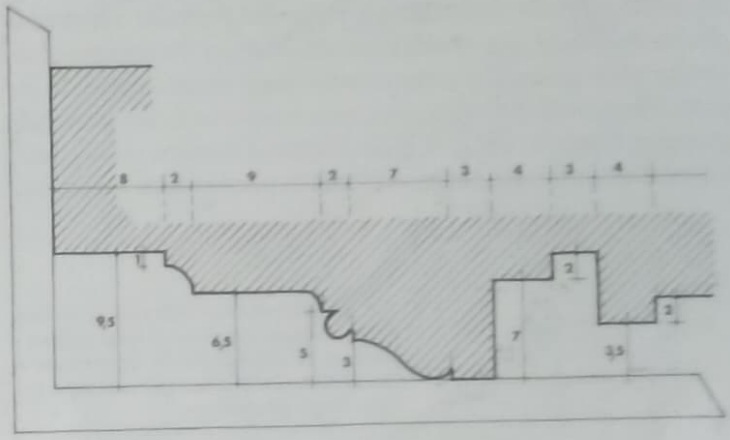


Fig. 89. Prelievo delle misure relative alla sezione orizzontale di una cornice laterale di una finestra, con l'ausilio di una squadra da muratore.

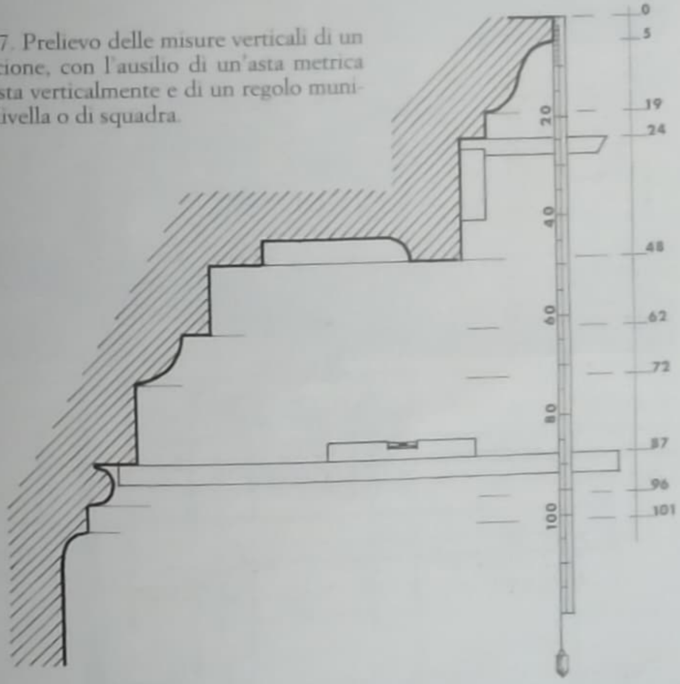


Fig. 87. Prelievo delle misure verticali di un cornicione, con l'ausilio di un'asta metrica disposta verticalmente e di un regolo munito di livella o di squadra.

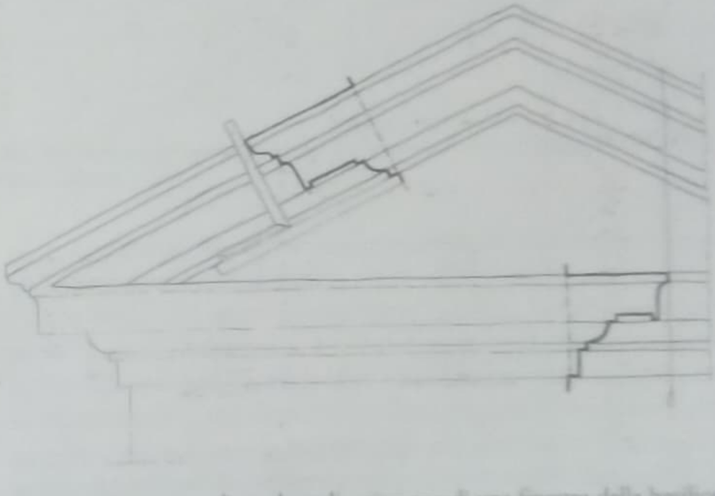


Fig. 90. Rilevamento di un dettaglio: timpano di una finestra della basilica di Santa Maria Maggiore in Roma (ribaltamento delle sezioni).

gure ecc. Nel redigere l'eidotipo pertanto occorre che il rilevatore colga i caratteri formali del capitello e li sintetizzi in uno schema, nel quale siano raccolte le informazioni essenziali e caratterizzanti. Un esempio di eidotipo ben condotto è riprodotto nella fig. 92. Come si può osservare, il prelievo delle misure riguarda sia gli elementi lineari (cornici, listelli ecc.) sia quelli dell'ornato (foglie ecc.). Per quanto riguarda gli elementi non lineari, il prelievo delle misure deve essere limitato ad alcuni punti caratteristici: nell'esempio proposto sono stati rilevati i punti che delimitano le foglie del capitello. Quanto al rilievo delle basi, si procede in modo analogo. Occorre però ricordare che gli ordini architettonici sono sistemi legati da regole di proporzione, cosicché è necessario che il rilevatore colga questi rapporti attraverso un disegno d'insieme dell'ordine, nel quale dovrà mettere in evidenza le proporzioni tra diametro e altezza della colonna, lo spessore della trabeazione, l'interasse delle colonne ecc. In questo caso, i rilievi di dettaglio delle colonne e della trabeazione costituiscono l'aspetto analitico del rilievo generale dell'ordine architettonico. Per il rilievo di cornici particolarmente complesse di cui si voglia un accurato grado di definizione, può essere invece utilizzata una sottile striscia di piombo (fig. 93a), che viene fatta aderire al profilo da rilevare; si potrà effettuare, quindi, il disegno della sagoma approntata, al vero, direttamente su carta. Analogo procedimento si ha quando si usa un profilometro o «pettine da lattoniere». Per il rilevamento delle cornici a grande scala, si rivela conveniente anche l'impiego di un calibro (fig. 93b).

Per quanto riguarda i particolari architettonici, oltre ai profili, alle piante e ai prospetti, può in vari casi essere utilizzata la rappresentazione assonometrica, specialmente quan-

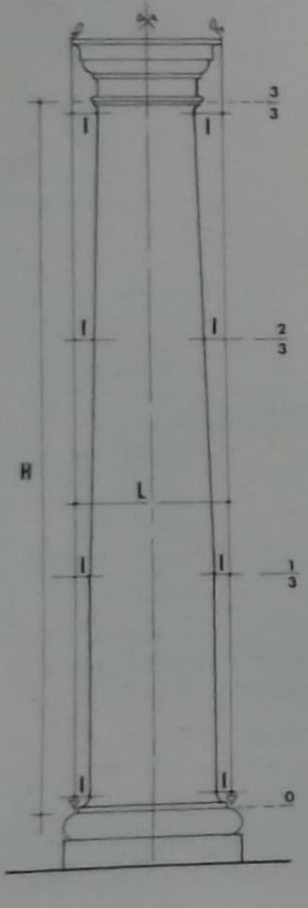


Fig. 91. Rilevamento delle misure relative a una colonna: nel disegno sono indicati i punti in cui è consigliabile determinare il diametro della colonna per valutarne l'esatta forma geometrica.

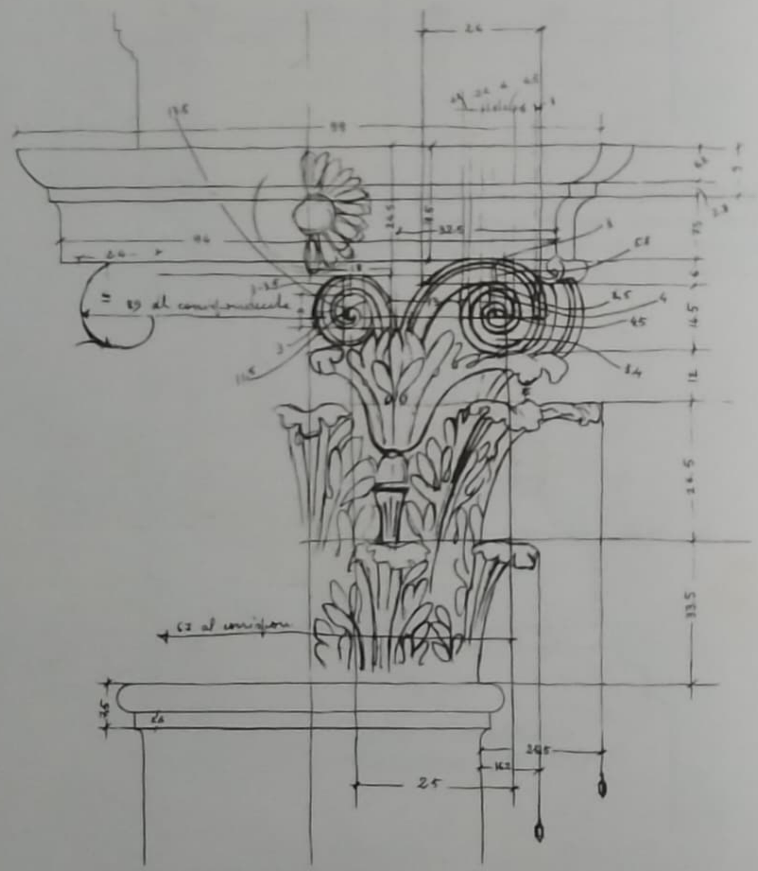
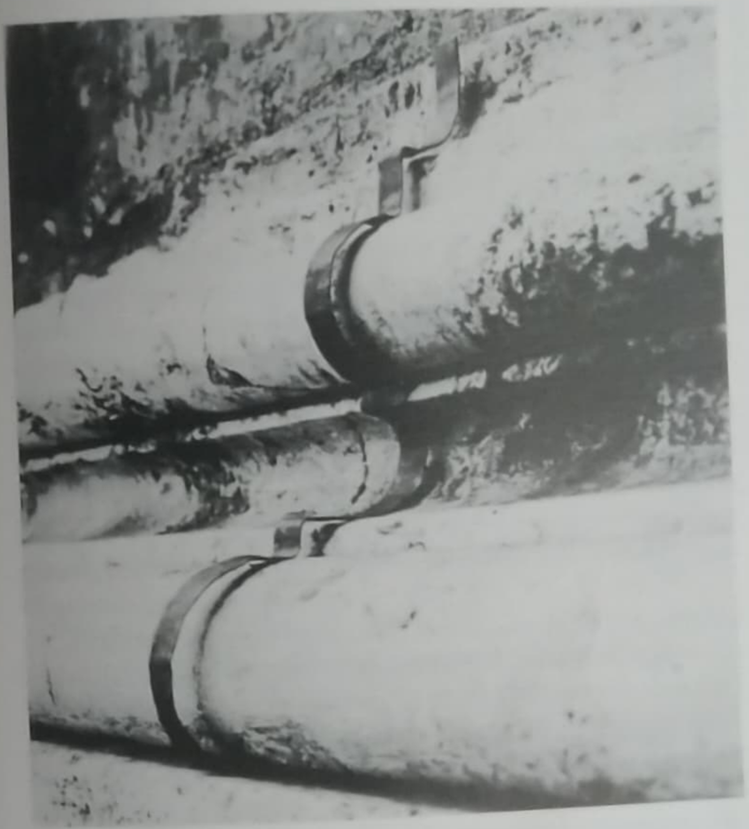


Fig. 92. Schizzo preparatorio per il rilievo di un capitello della facciata della chiesa dei Santi Vincenzo e Anastasio in Roma, di M. Longhi il Giovane. Rilevamento V. Rizzi.

do si voglia dare subito una visione d'insieme del particolare in oggetto (fig. 94): si utilizza allora la stessa rappresentazione assonometrica per riportarvi le misure d'insieme del particolare da rilevare.

La rappresentazione degli elementi costruttivi non presenta particolari difficoltà, ma anche in questo caso è consigliabile utilizzare l'assonometria per ottenere una visione glo-



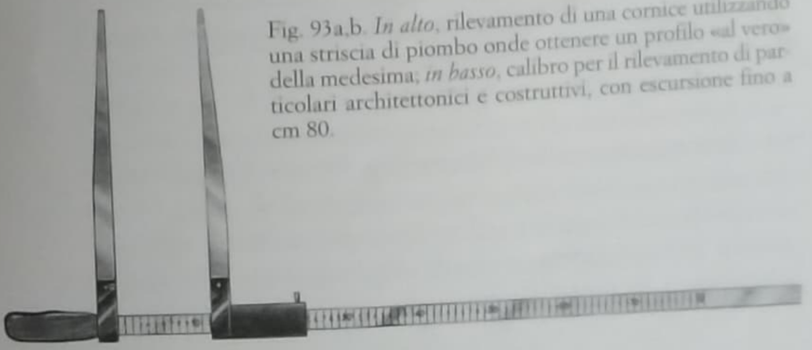


Fig. 93a,b. *In alto*, rilevamento di una cornice utilizzando una striscia di piombo onde ottenere un profilo «al vero» della medesima; *in basso*, calibro per il rilevamento di particolari architettonici e costruttivi, con escursione fino a cm 80.

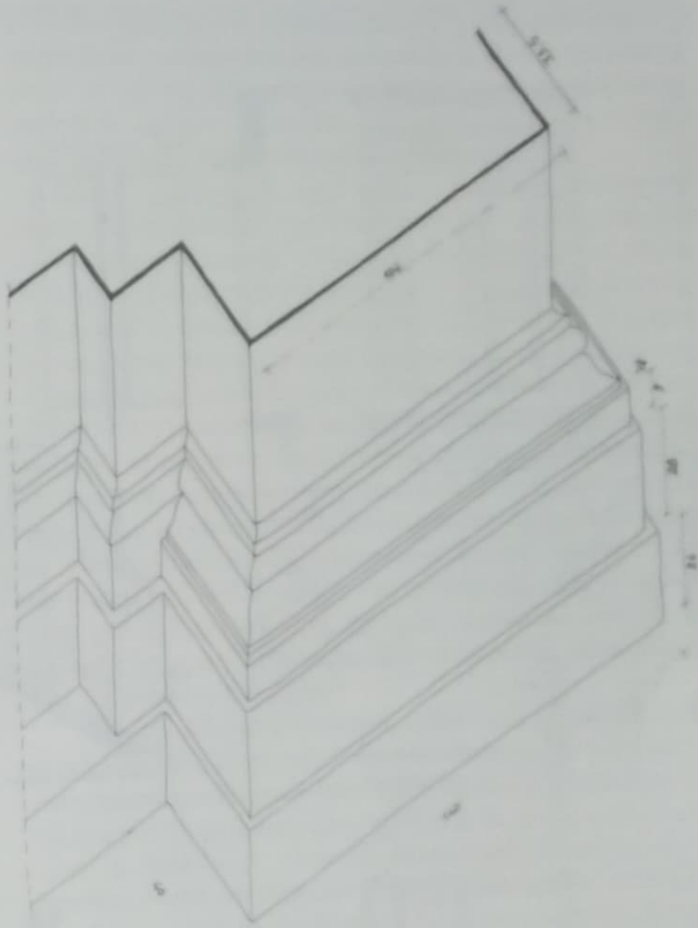


Fig. 94. Schizzo assonometrico per il rilevamento di una parasta di Porta Portese in Roma.

bale dell'elemento come rappresentazione complementare delle proiezioni ortogonali.

Le scale di rappresentazione, inoltre, debbono essere molto grandi (1:20, 1:10, 1:5), per mettere in evidenza tutti i particolari e i vari dettagli (fig. 95). Talora – ad esempio nella rappresentazione di portali e finestre con cornici complesse – la scala può essere ancora più grande, fino ad arrivare al rapporto 1:1 per la raffigurazione delle modanature.

Le ricerche e gli studi promossi, in questi ultimi anni, da comuni e province, hanno portato alla redazione di manuali

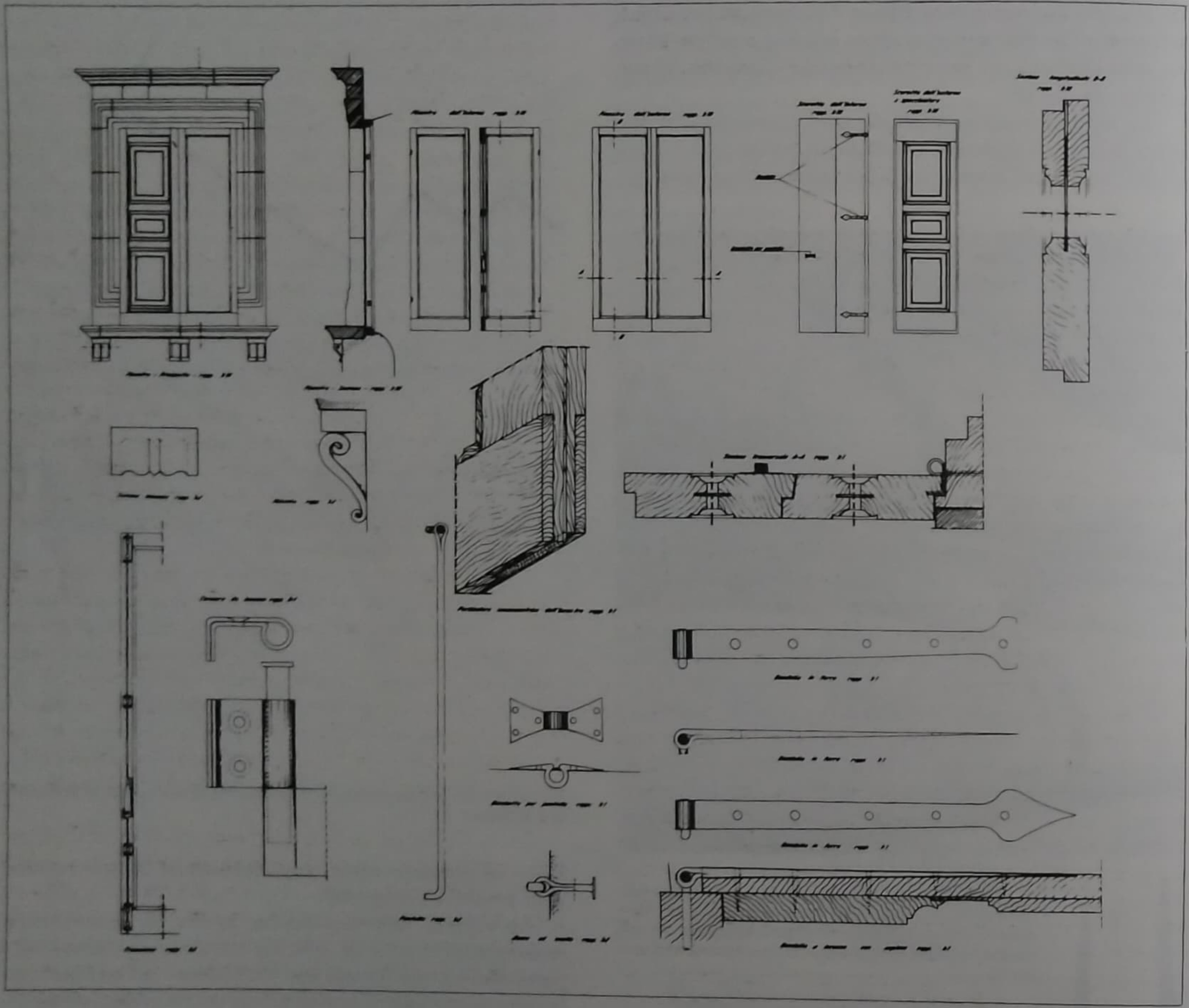


Fig. 95. L'Aquila, Palazzo Branconio. Particolari architettonici. Rilevamento M. Centofanti, V. De Masi, L. Zordan, con la collaborazione di V. Giusti.

assai utili per la conoscenza di particolari costruttivi degli edifici antichi; ricordiamo, tra gli altri, quelli approntati dal Comune di Città di Castello[5] (cfr. fig. 96) e dal Comune di Roma[6].

IL RILEVAMENTO DEGLI ORDINI ARCHITETTONICI

Per quanto riguarda il problema della schematizzazione dell'ordine architettonico in base alla scala di rappresentazione adottata, è necessario tener presente che, data la grande variabilità qualitativa e dimensionale delle opere da raffigurare, quanto si dirà ha valore indicativo e va inteso semplicemente come traccia di lavoro, dovendosi continuamente adattare e modificare lo schema in base alla specificità dell'opera da rilevare. È opportuno inoltre ribadire che le opere architettoniche, specie quelle del passato, forniscono una casistica quanto mai ampia per caratteri propri: non esistono, ad esempio, due templi dorici o due trabeazioni ioniche uguali, così come non vi sono due interpretazioni uguali, da parte di architetti rinascimentali, di uno stesso ordine o, addirittura, dell'ordine di uno stesso edificio antico; dunque, per «schematizzazione» si deve intendere una sintesi ragionata, pertinente a una certa opera. L'ordine architettonico da rilevare e da studiare deve essere, pertanto, l'elemento da cui discende una certa schematizzazione e non viceversa.

Tuttavia, a fini didattici e visto che, pur nella grandissima varietà di forme e proposizioni, sussistono nella maggioranza dei casi alcune regole comuni, si possono fornire indicazioni per predisporre una sequenza di semplificazioni decrescenti, in base alla scala di riduzione adottata, con cui definire le linee significative dell'ordine architettonico da disegnare[7].

I cinque ordini canonizzati dalla trattatistica rinascimentale sono: il tuscanico, il dorico, lo ionico, il corinzio e il composito; i tre «centrali», fra questi, erano già stati codificati nel *De architectura*, di Vitruvio[8], che considerava gli ordini greci come una sequenza morfologicamente e dimensionalmente correlata (figg. 97, 98, 99). Gli artefici della rinascenza della cultura classica, dedicando gran parte delle loro energie allo studio e alla codificazione degli ordini architettonici, elaborarono le regole «grammaticali» che ne avrebbero dovuto strutturare il linguaggio. Oggi, dopo cinque secoli di speculazioni teoriche e applicazioni pratiche, gli ordini sono stati studiati e applicati in moltissimi modi; ognuna delle cinque «maniere» conta un'infinità di versioni e di varianti, scaturite dall'interpretazione del testo vitruviano, dai modelli più antichi e dal gusto personale degli architetti (figg. 100, 101, 102).

Infatti, ogni periodo, ogni civiltà, ogni architetto ha utilizzato questi elementi[9] con forme e proporzioni diverse: basta ricordare Bramante, i Sangallo, Buonarroti, Borromini, Bernini o, andando ancora più indietro nel tempo, gli architetti greci e romani, i quali, a seconda della regione di provenienza, hanno spesso operato variazioni notevoli all'interno di ciascun ordine architettonico, come è avvenuto nel caso della cornice «attica» (contrassegnata da uno sviluppo minimo della sottocornice), peculiare di una zona specifica della Grecia, o nel caso della cornice «asiana» (che si distingue per lo sviluppo accentuato della sottocornice), tipica della regione anatolica, benché si ritrovi successivamente anche in Grecia (loggia sud dell'Eretteo). Per quanto riguarda la trabeazione poi, il discorso si fa quanto mai complicato, essendo tali e tante le variazioni riscontrabili nella realtà, senza distinzione di tempo e di luogo.

Notevoli differenze esistono, inoltre, tra i vari ordini, sia in relazione alle proporzioni dei vari elementi, sia per l'uso di determinate modanature (per la loro quantità, per la loro forma e, a volte, per la loro disposizione), sia, ancora, per l'adozione di determinati elementi decorativi[10]. Esempio di ciò possono essere considerate le varie trabeazioni corinzie e composite, prodotte dai Romani, le cui successive trasformazioni furono considerate quali modelli dagli architetti del Rinascimento, specie in riferimento alla fascia tra gocciolatoio e sottocornice[11].

Tra le diverse procedure di schematizzazione dell'ordine architettonico, per comodità conviene far riferimento a quella delle suddivisioni successive, applicata dai trattatisti (Alberti, Serlio, Cataneo, Palladio e, prima ancora, Vitruvio), che consiste nel ricavare ogni dimensione da quelle che precedono, compiendo divisioni ulteriori degli elementi. In base a tale procedimento si può individuare, in tutti e cinque gli ordini, un'organizzazione gerarchica dei vari elementi, che permette di distinguere tre livelli principali: costruttivo, funzionale e decorativo. Questa struttura gerarchica risulta molto utile nella prima lettura dell'organismo architettonico e facilita al-

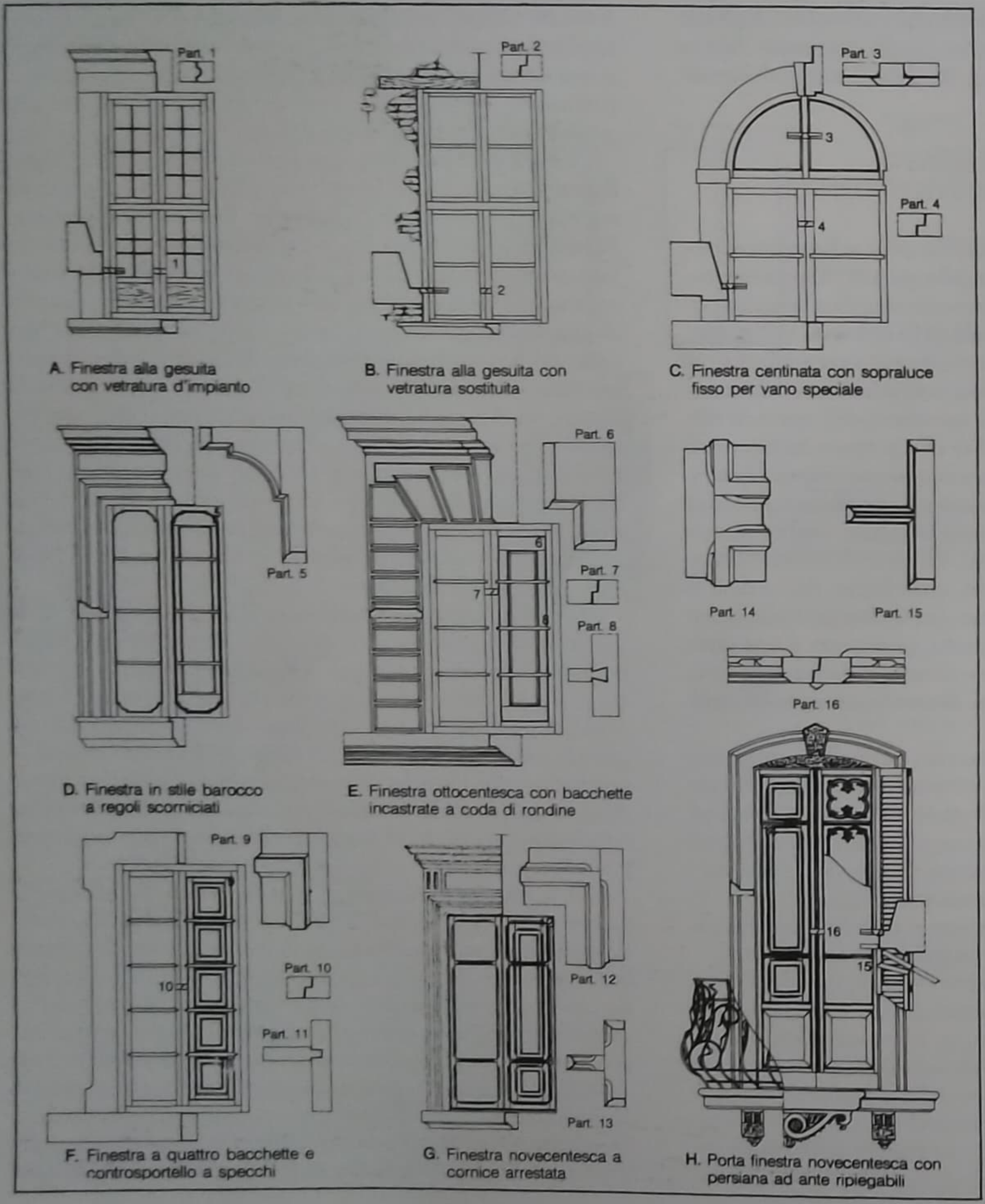


Fig. 96. Una tavola del *Manuale del recupero* (F. Giovanetti, 1992), approntato dal Comune di Città di Castello. Rilevamento G. Boni.

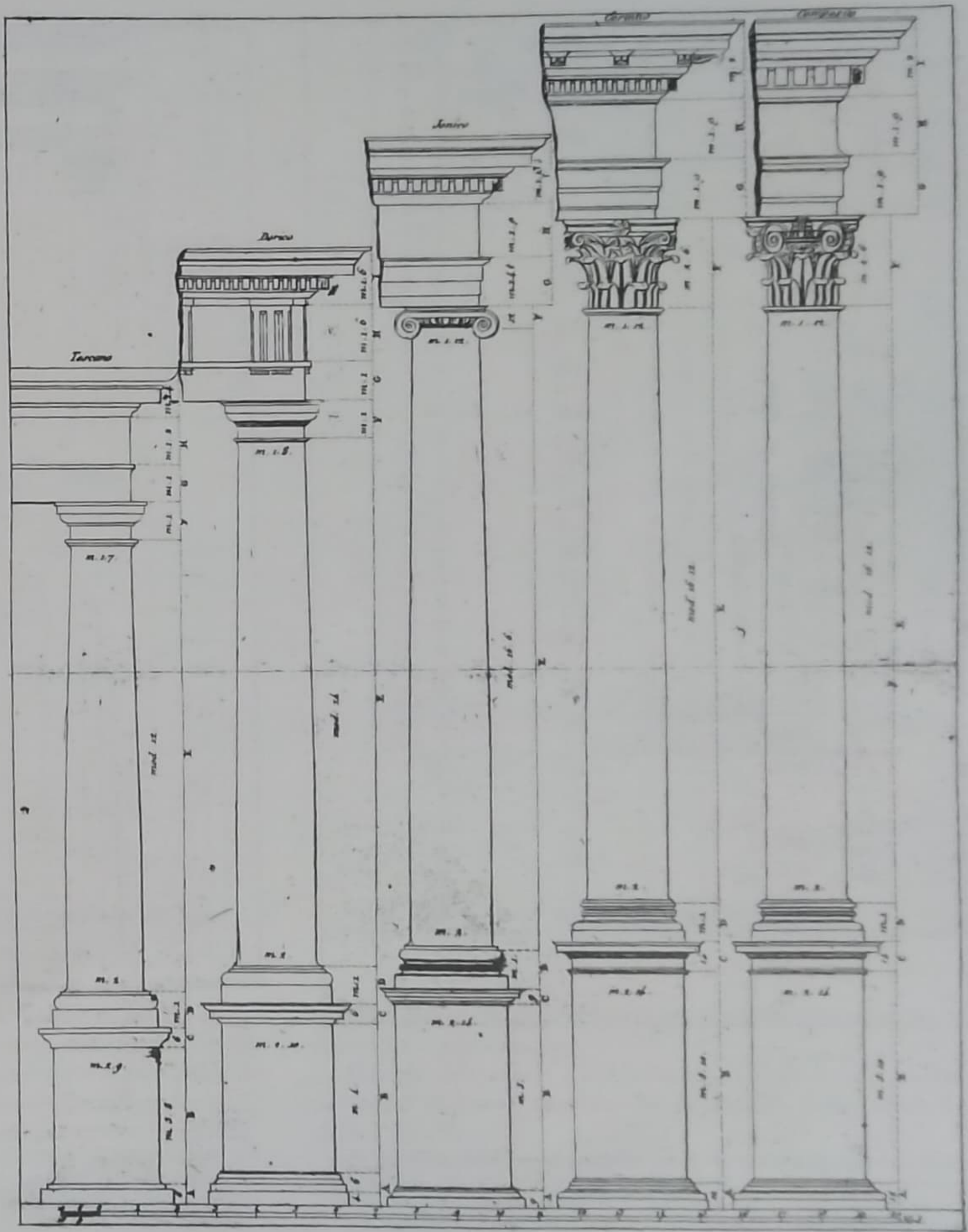
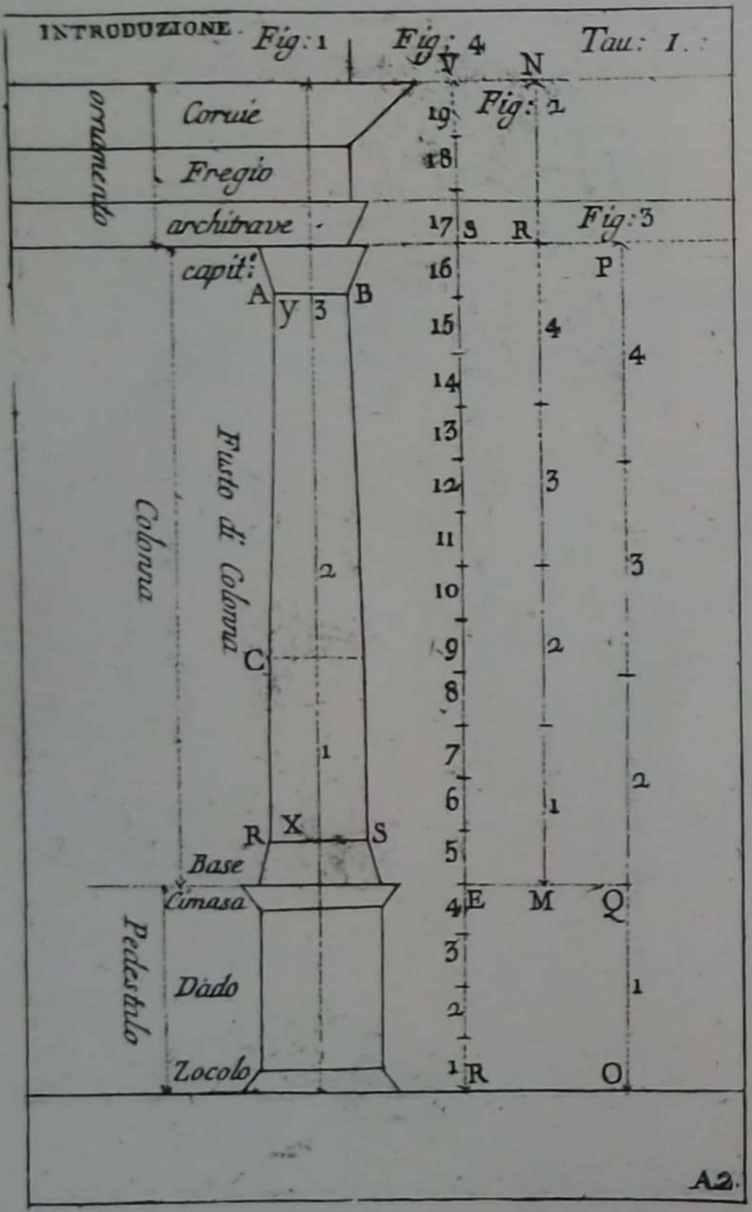


Fig. 97. I cinque ordini architettonici del Vignola, riportati nell'edizione di Costantino Gianni, del 1862.



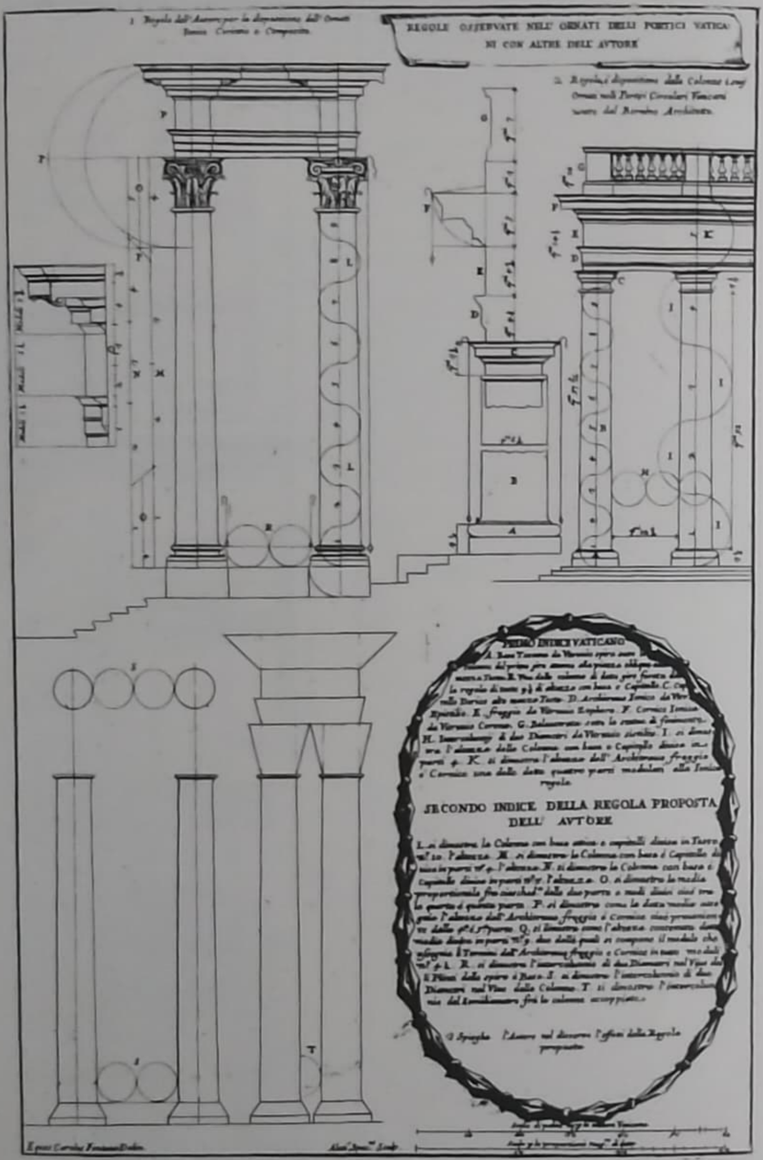
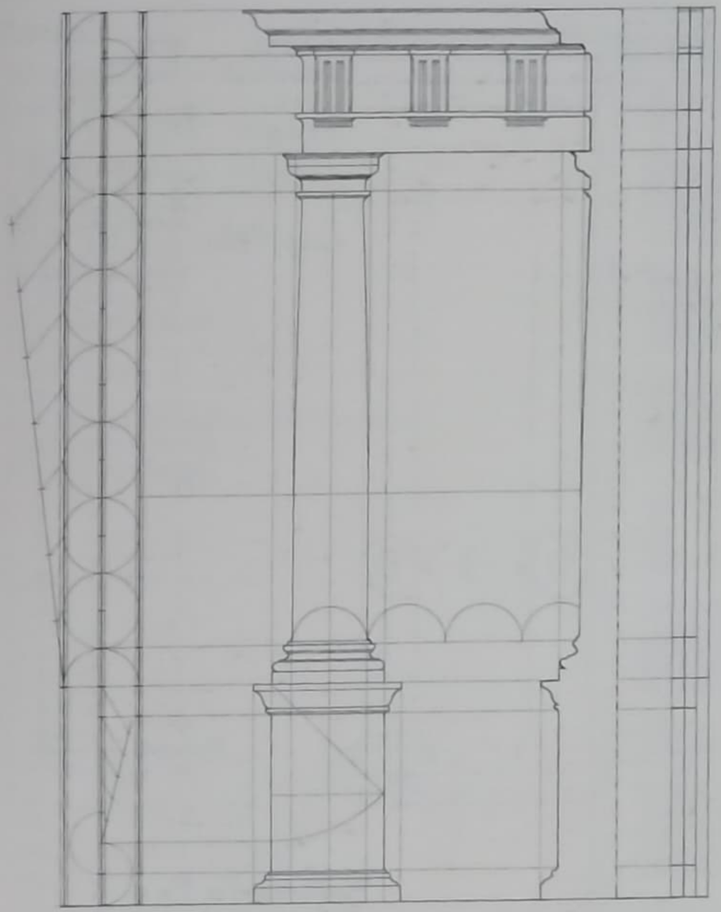
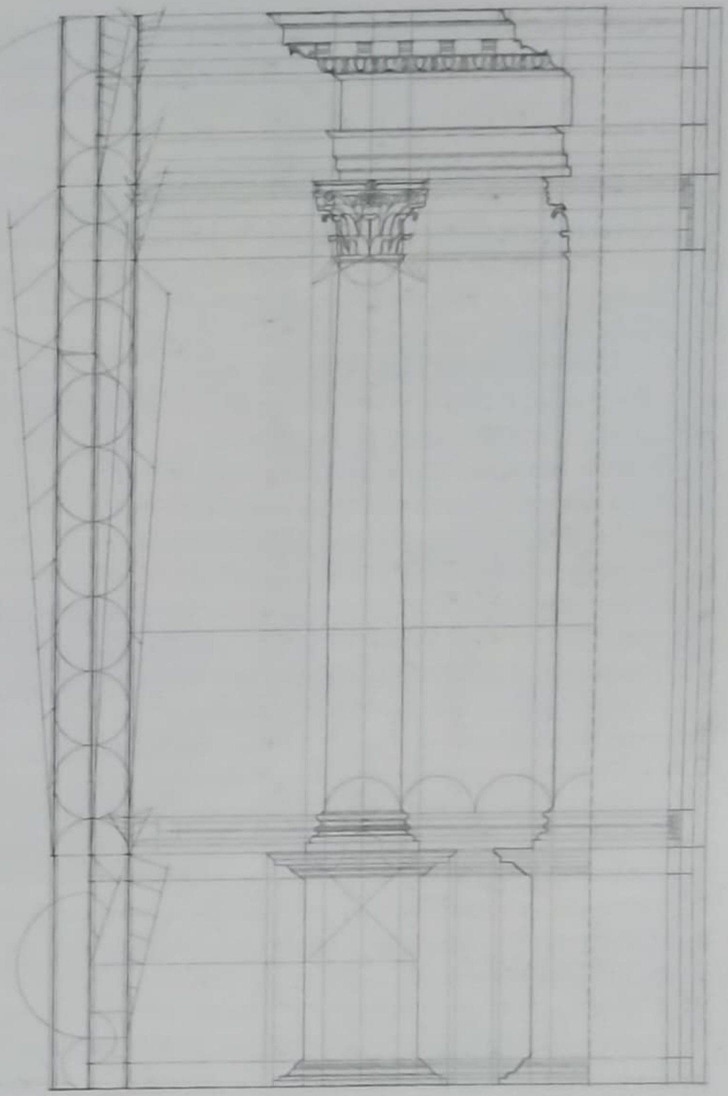


Fig. 98. Schema della suddivisione dell'ordine nelle sue parti principali, riportato nella terza edizione del volume di G. Barozzi, *L'architettura di Jacopo Barozzi da Vignola ridotta a facile metodo per mezzo di osservazioni a profitto de' studenti*, Bassano 1787.

Fig. 99. Gli ordini architettonici corinzio e composito, secondo Carlo Fontana, e caratteristiche dell'ordine dorico riscontrate, dallo stesso, nell'ordine dorico del Bernini nei portici di piazza San Pietro.





Figg. 100, 101. L'ordine dorico e l'ordine corinzio secondo la codificazione di Sebastiano Serlio. Disegno C. Cichetti.

quanto le operazioni di rilevamento e la fase di restituzione grafica[12]. Facendo riferimento al metodo delle suddivisioni successive, infatti, non è possibile cominciare le misurazioni dal basso e finirle in alto, ma è necessario considerare sempre l'insieme, partendo dalle grandi masse, per arrivare a quelle minori e scendere fino nei dettagli.

Il primo livello della gerarchia è quello *costruttivo*, o della *firmitas* vitruviana, che scandisce il proporzionamento delle grandi masse e divide l'ordine in tre elementi: il piedistallo, la colonna e la trabeazione.

Il *livello funzionale*, o *dell'utilitas*, comprende le parti scaturite dall'ulteriore divisione del piedistallo, della colonna e della trabeazione.

Il *livello decorativo*, o della *venustas*, è quello in cui ogni singolo elemento viene modellato.

Si noti come le due prime divisioni dell'ordine in tre par-

ti, e successivamente di ciascuna ancora in tre, generino una trama di nove linee, che separano le membrature essenziali, evidenziando il ritmo di scansione dei primi due livelli della gerarchia[13].

A puro titolo esemplificativo, per quanto attiene alle norme di proporzionamento a questi relative, si fa presente che il piedistallo è alto circa un terzo della colonna, l'altezza della quale varia, nei cinque ordini, in funzione del diametro nel modo seguente: ordine toscano = 7 diametri (a volte anche 6); ordine dorico = 8 diametri (a volte 7 o 7 e 1/2); ordine ionico = 9 diametri (a volte 8); ordine corinzio = 10 diametri (a volte 9 o 9 e 1/2); ordine composito = 10 diametri; la trabeazione è alta circa un quarto della *colonna*.

Quanto alla scansione in verticale degli elementi architettonici, si possono fare alcune considerazioni di carattere generale: il limite massimo del fregio è allineato con il filo esterno del sommoscapo della colonna e con il filo unico o con quello più interno dell'architrave; la colonna rinascimentale presenta l'entasi a un terzo circa della sua altezza, a partire dall'imoscapo; il dado del piedistallo non è mai minore della base della colonna, il cui asse è asse di simmetria di tutti gli elementi di rotazione.

Gli elementi appartenenti al livello decorativo degli ordini sono modellati mediante la composizione delle varie modanature, che si possono distinguere in semplici e composte, regolari e irregolari (figg. 103, 104).

Le modanature regolari sono: il listello o lista, detto anche filetto, regolo o pianetto; l'ovolo (*echinus*); il guscio o cavetto (*cimatyum doricum*), detto anche cimbia da Palladio; il toro (*torus*), detto anche bastone; il tondino o fusarolo, chiamato anche astragalo; la scozia (*trochilus*); la gola rovescia (*cimatyum lesbium*); la gola diritta (*sima*). A queste si possono aggiungere il becco di civetta e altri elementi, quali i dentelli, le mensole, i mutuli, i modiglioni e le fasce.

La conoscenza della delineazione geometrica delle modanature può aiutare nel rilevamento delle stesse, considerando, però, che ogni opera architettonica ha caratteristiche proprie anche in questo settore. Le modanature variano da epoca a epoca e da architetto ad architetto, tanto da essere spesso riconducibili a un preciso ambito culturale e anche a una sicura personalità. La delineazione delle modanature può darsi, quindi, come indicazione di carattere generale, sulla

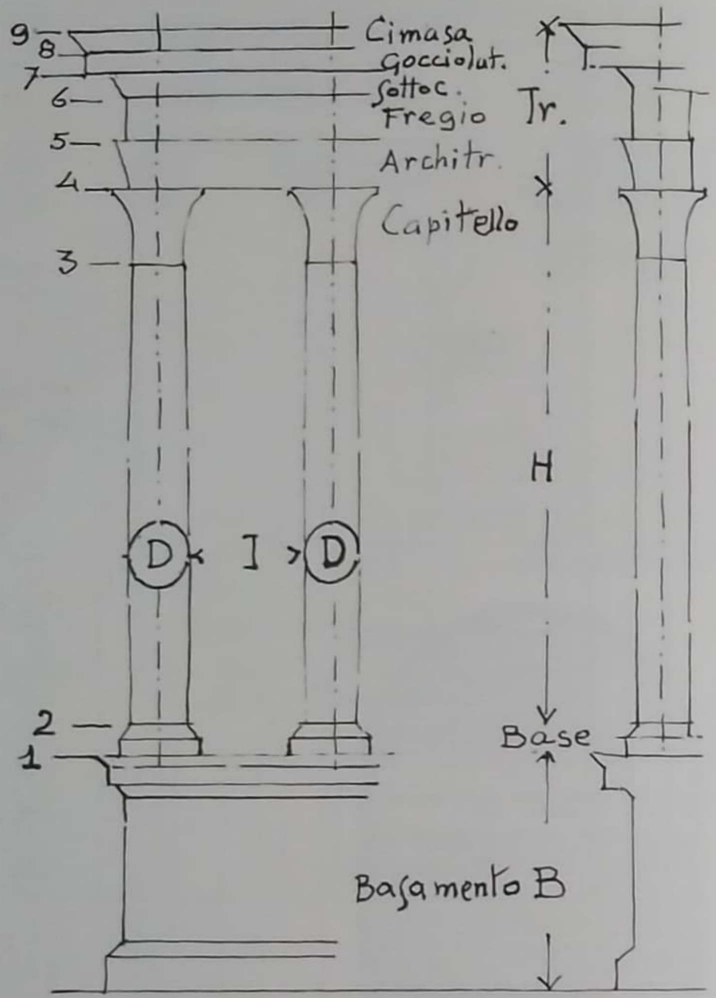


Fig. 102. Esemplificazione delle nove linee caratterizzanti l'ordine architettonico classico secondo V. Fasolo.

base di quanto esemplificato dai trattatisti, tenendo presente che essa deve aiutare alla comprensione della realtà e non sostituirsi a quest'ultima[14].

Ovolo e guscio, di forma convessa il primo e concava il secondo, sono costituiti da un quarto, un sesto ecc. di circonferenza, così come il toro, il tondino e la scozia semplice da una semicirconferenza. La gola diritta e quella rovescia si basano sul raccordo di due quarti, di due sesti ecc. di circonferenza; il becco di civetta si forma mediante il raccordo di due

Legenda

1. Listello o regolo
2, 3. Ovolo
4, 5. Guscio o cavetto
6. Toro
7. Tondino o fusarolo
8. Scozia
9, 11. Gola rovescia
10, 12. Gola diritta
13. Becco di civetta
14, 16. Scozia
15. Scozia del Vignola
17. Dentelli
18. Modiglione
19. Fascia
20. Collarino-Astragalo con gocciolatoio
21. Guscio con listello
22. Ovolo con listello

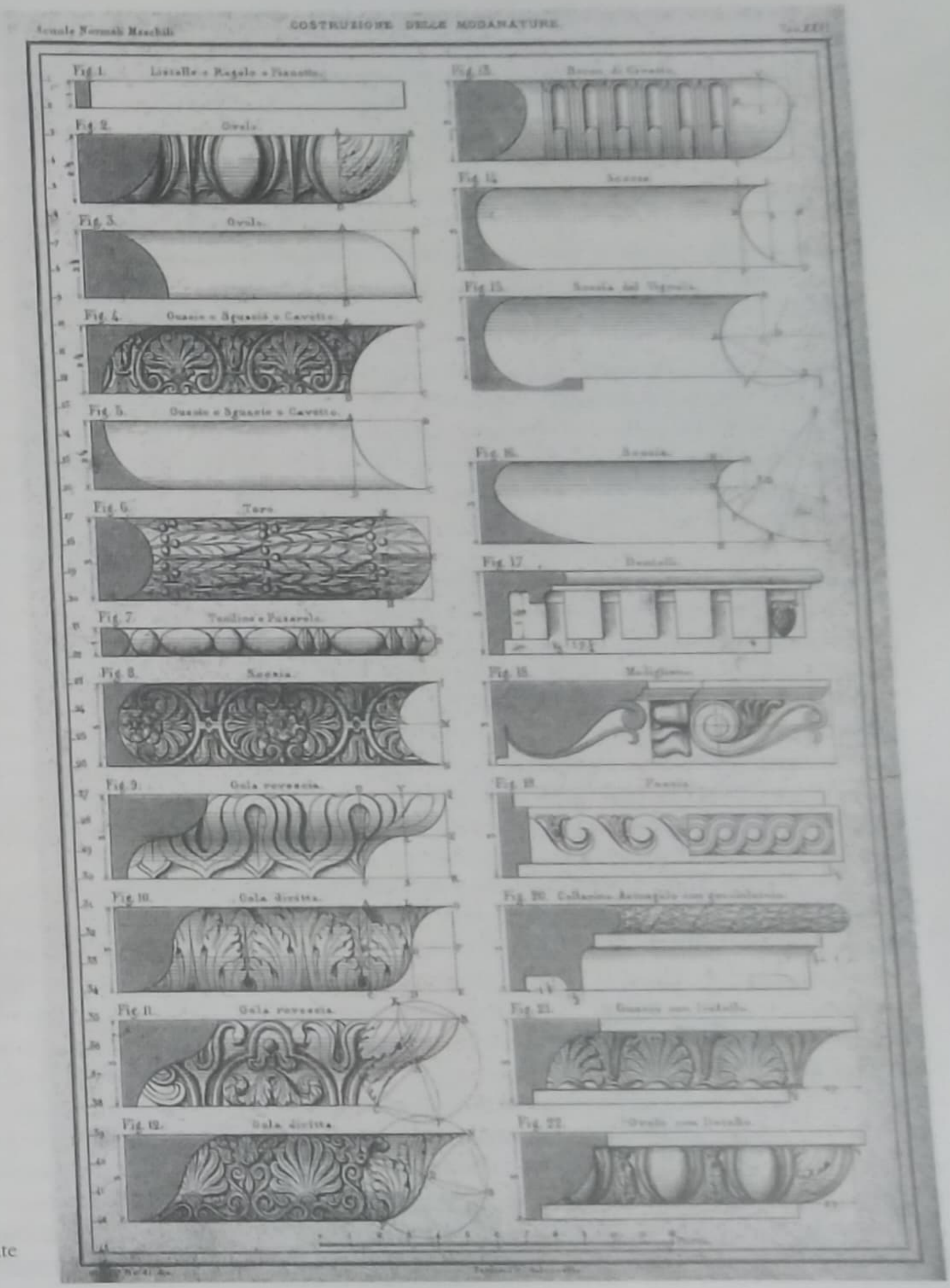
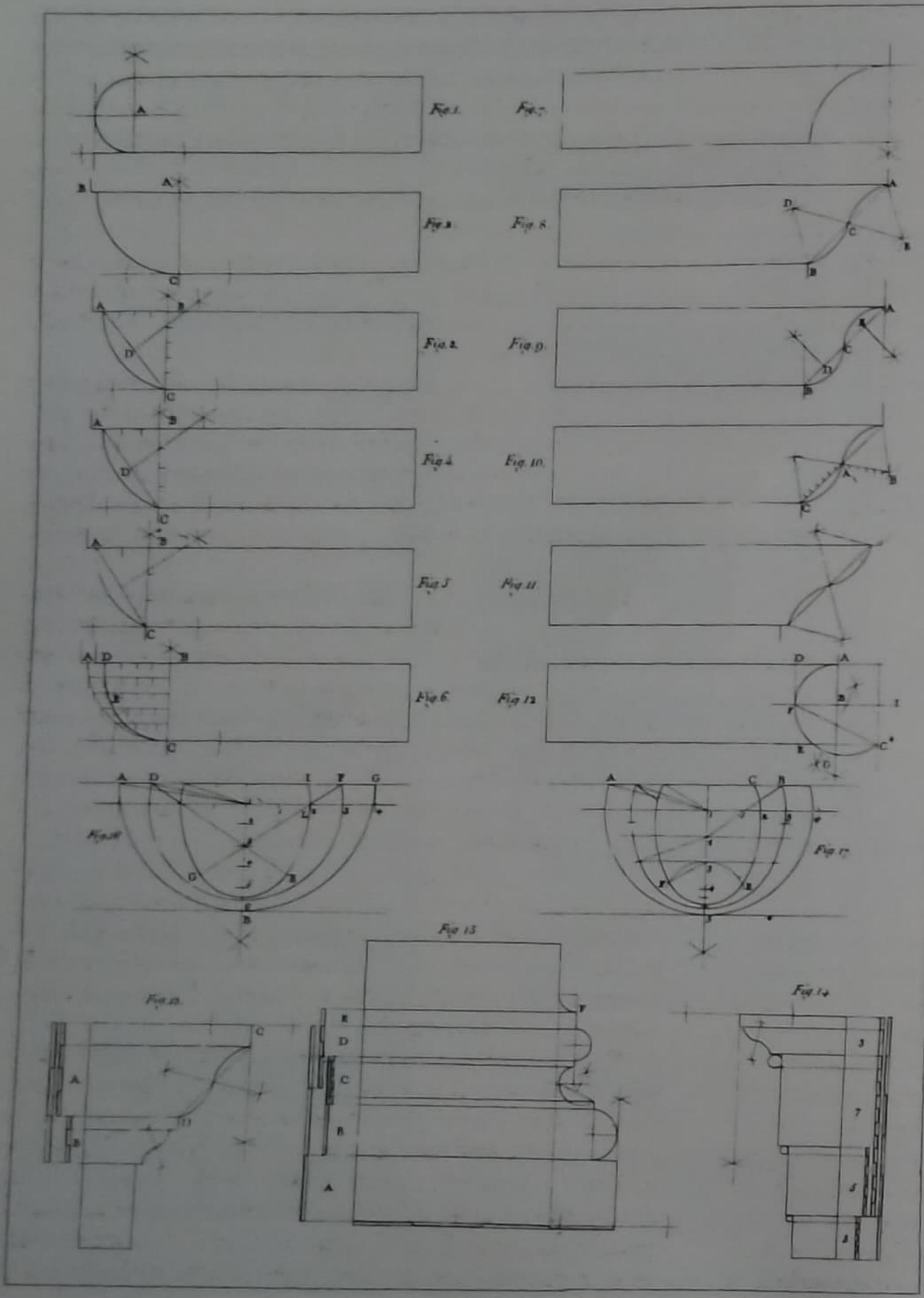


Fig. 103. Esemplificazione delle modanature codificate nel Rinascimento e relative costruzioni.



Legenda

1. Toro
2-6. Ovolo
7. Guscio
8-10. Gola diritta
11. Gola rovescia
12. Scozia del Vignola

Fig. 104. Le principali modanature secondo la codificazione della manualistica ottocentesca.

quarti di circonferenza, di cui uno è la terza o quarta ecc. parte dell'altro. Vari sono anche i profili della scozia: da quella detta «del Vignola», in cui un quarto di circonferenza si raccorda con un arco, il cui centro si trova come intersezione tra l'orizzontale passante per il centro del quarto citato e la perpendicolare al segmento tracciato tra il punto di raccordo e il punto estremo della modanatura, ad altre ancora.

In base alle regole suddette, volendo rappresentare in prospetto, ad esempio, un edificio che sia scandito da uno o più ordini, occorre osservare alcune norme così riassumibili: la schematizzazione o discretizzazione dei punti significativi deve essere fatta in correlazione con la scala di riduzione del grafico finale; l'individuazione degli allineamenti orizzontali più significativi, nei casi normali, corrisponde alla scansione canonica delle parti principali suddivise in cimasa, gocciolatoio, sottocornice, fregio, architrave, capitello, fusto e base della colonna, per la scala 1:100; per la scala 1:50, invece, è opportuno rappresentare la suddivisione in oggetto per mezzo delle modanature principali entro le parti principali sopra citate; particolare attenzione deve essere rivolta agli allineamenti verticali di ciascun ordine, come all'insieme delle sovrapposizioni di più ordini, in riferimento anche alle aperture e ad eventuali elementi architettonici secondari presenti. La raffigurazione delle singole modanature, sempre in dipendenza delle dimensioni e della complessità dell'organismo architettonico, può verosimilmente farsi solo nelle scale 1:20, 1:10 ecc., perché ciò porta a rilevare con estrema precisione la vera forma, su un piano meridiano, della modanatura stessa.

Dopo accurati esami dal vero, ma servendosi anche di disegni quotati, di fotografie e di appunti, è necessario operare una scelta delle linee capaci di rappresentare compiutamente, alla scala prestabilita, l'organismo architettonico in prospetto. Se si compie un'accurata analisi filologica dell'ordine da rilevare, annotando su tre colonne, che corrispondono ai tre livelli della gerarchia, i nomi delle parti, è possibile far corrispondere ad ogni colonna una serie di segni, da tracciare nell'ordine che va da sinistra a destra: dunque, prima le grandi divisioni del piedistallo (ove esista), poi della colonna, della trabeazione ecc., fino al dettaglio delle modanature.

Ad esempio, per compiere il rilievo dell'arco di Settimio Severo, qui illustrato (fig. 105), si è proceduto secondo le fasi appresso descritte: a) riconoscimento delle parti che appartengono al livello gerarchico della *firmitas* e dell'*utilitas* (si noti come questa fase sia particolarmente delicata quando il monumento è molto degradato); b) riconoscimento delle parti che appartengono al livello gerarchico della *venustas* (cfr. in fig. 106 il dettaglio della trabeazione); c) quadro riassuntivo delle parti che compongono l'ordine da rilevare (fig. 107).

Nel quadro della partitura così analizzata si inseriscono le monografie dei punti da collimare, se il rilievo è strumentale, o da sottoporre a misura diretta, se il rilievo è di tipo tradizionale[15] (fig. 108).

Solo dopo aver concluso le operazioni relative alla fase precedente, che può essere identificata con quella del progetto di rilevamento, si potrà procedere con le misurazioni. La misura può essere effettuata per via fotogrammetrica, per mezzo di strumenti topografici o mediante il metodo diretto, ma più frequentemente risulta dall'integrazione di questi vari metodi.

Tali osservazioni trovano la loro applicazione nel momento della restituzione: restituire significa compiere un passaggio dal discreto al continuo, che è l'inverso del risultato cui si è pervenuti nel momento dell'analisi. Per mezzo di un'accurata operazione di sintesi si passerà dai pochi punti rilevati al segno continuo della rappresentazione grafica. Né, al riguardo, deve trarre in inganno l'uso della fotogrammetria o dell'informatica, poiché anche in questi casi la struttura che si ottiene come espressione delle misure è di tipo discreto.

Il suddetto passaggio dal discreto della misura al continuo del disegno si ottiene sostanzialmente in due modi: il primo consiste nell'integrare le misure dirette e strumentali con il calco delle modanature, come è stato detto; il secondo, eventualmente in alternativa al primo, è basato sul rilevamento diretto dei dettagli.

Per ottenere un effetto migliore nell'ambito della rappresentazione, occorre ancora tener conto che eventuali schematizzazioni di parti plastico-decorative e di figurazioni geometriche, ottenute con l'impiego di materiali di colore diverso, debbono essere calibrate, rispetto al tutto, sia per quanto attiene allo spessore del segno utilizzato, sia per la quantità di particolari riportati nel disegno; un'esemplificazione eccessiva di particolari può, a volte, essere altrettanto inopportuna

Fig. 105. Roma, arco di Settimio Severo. Individuazione delle parti principali dell'ordine architettonico. Elaborazione C. Cichetti.

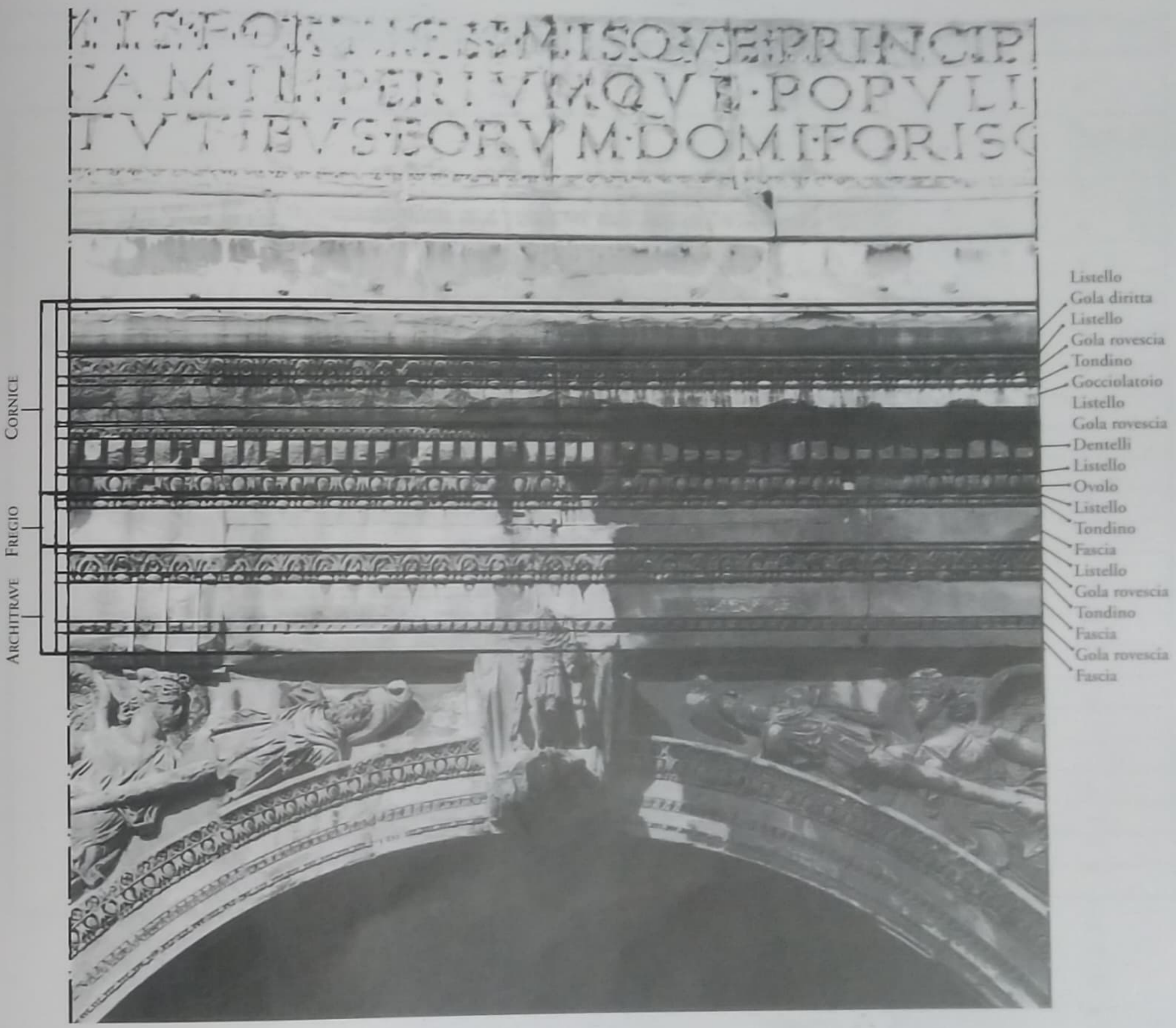


Fig. 106. Roma, arco di Settimio Severo. Dettaglio della trabeazione. Elaborazione C. Cichetti.

Trabeazione

- Cornice
- Fregio
- Architrave

Listello
Gola diritta
Listello
Gola rovescia
Tondino
Gocciolatoio
Listello
Gola rovescia
Dentelli
Listello
Ovolo
Listello
Tondino
Fascia
Listello
Gola rovescia
Tondino
Fascia
Gola rovescia
Fascia

Colonna

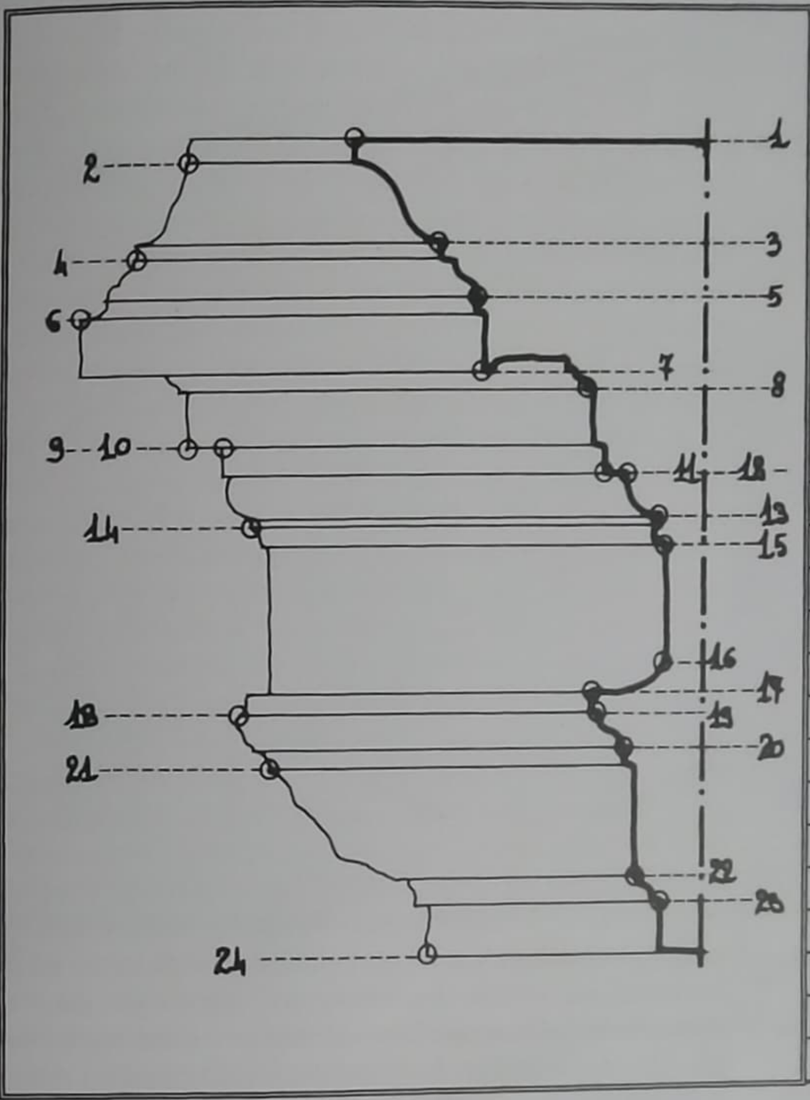
- Capitello
  - Abaco [Echino – Listello – Cavetto]
  - Echino [Voluta – Ovolo – Tondino]
  - Campana [Listello – Foglia superiore – Foglia inferiore]
- Fusto
  - Tondino
  - Listello
  - Cimbia
  - Tronco
  - Cimbia
  - Listello
- Base
  - Toro superiore
  - Listello
  - Scozia
  - Listello
  - Toro inferiore
  - Plinto

Piedistallo

- Stilobate
- Cimasa
  - Listello
  - Gola diritta
  - Listello
  - Ovolo
- Dado
  - Listello
  - Dado
  - Listello
- Basamento
  - Tondino
  - Gola diritta
  - Listello
  - Toro
  - Zoccolo [Fascia superiore – Fascia mediana – Fascia inferiore]

Fig. 107. Diagramma degli elementi che compongono l'ordine dell'arco di Settimio Severo in Roma. Elaborazione C. Cichetti.

ARCO DI SETTIMIO SEVERO / TRABEAZIONE /Partizione verticale A



Misure strumentali

P.	Azimut A	Zenit A	Azimut B	Zenit B
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				

Fig. 108. Esempio di scheda per le monografie dei punti da rilevare, utilizzata per l'analisi dell'arco di Settimio Severo, in Roma. Elaborazione C. Cichetti.

quanto un eccessivo schematismo. Per ciò che riguarda lo spessore del segno, è consigliabile adoperare un tratto leggermente più spesso per disegnare le zone di contorno, comprese quelle delle aperture, e uno leggermente più sottile per il disegno di elementi decorativi e di particolari architettonici, come scanalature, dettagli di capitelli, di bugnato ecc. Nei dettagli di facciata e ancor più nei disegni di particolari (cornicioni, finestre, portali), redatti quindi in scala più grande di quelli dell'intero prospetto, con la maggiore precisazione dei dettagli deve aumentare proporzionalmente la sensibilità per le forme, l'attenzione e l'accuratezza del disegno[16].

RILEVAMENTO E PROPORZIONAMENTO

Un rilevamento ben condotto e l'individuazione dell'unità di misura impiegata nella costruzione di un'opera architettonica antica consentono di condurre, su di essa, la cosiddetta *analisi proporzionale*[17].

Fin dall'antichità schemi geometrici o proporzionali hanno costituito, in campo architettonico, la base plano-altimetrica di molte costruzioni monumentali.

La civiltà egiziana, che fin dal terzo millennio a.C. teneva in grande considerazione gli studi di carattere geometrico, ha quasi sicuramente adoperato, nella realizzazione di opere architettoniche, non solo tracciati geometrici semplici, basati su triangoli, come quello denominato appunto «egiziano» (avente l'altezza e la base legate dal rapporto 5:8) e quello detto «sacro» (di lati 3-4-5), ma anche rapporti modulari, per la descrizione di schemi planimetrici, fondati sul cubito e su moduli da esso ricavati, come è testimoniato dai tracciati modulari, basati su multipli del cubito, individuabili in varie piante di templi egiziani: la loro graficizzazione consente di leggere le piante stesse mediante figure geometriche che ne scandiscono le varie parti, interne ed esterne[18].

Inoltre, gli studi effettuati sulle piramidi hanno messo in luce i precisi rapporti matematici che legano le varie parti di esse e che determinano il posizionamento dei principali ambienti secondo schemi geometrici; forse, però, un rilevamento dettagliato, quotato in piedi e cubiti, consentirebbe di pervenire a una lettura più vicina ai processi realizzativi degli organismi architettonici stessi.

Ben nota è l'importanza che i Greci attribuivano ai numeri e allo studio della geometria, elementi che costituiscono persino aspetti salienti di importanti correnti filosofiche, cosicché è intuibile che riscontri cospicui di ciò possano ritrovarsi nell'architettura e nell'arte di quel popolo. I Greci conoscevano e si valevano, in particolare, del rapporto 5:9 ed anche veniva impiegata la divisione di un segmento in media ed estrema ragione, che, quale concetto ordinatore e proporzionatore, può essere individuata in vari organismi architettonici. Allo stesso modo, come gli studi condotti finora dimostrano, si possono rintracciare rapporti modulari fra le parti di varie opere e fra le parti e l'intero organismo architettonico. Tuttavia, ciò che più interesserebbe, sarebbe il riuscire a risalire, se possibile, al modo con cui questi concetti proporzionali sono stati utilizzati per la progettazione[19].

Per questo, piuttosto che effettuare una disamina di carattere generale sul proporzionamento nell'arte greca, si è preferito trattare più diffusamente del Partenone, della cultura geometrica che è stata alla base della sua progettazione[20], e dei numerosi studi che hanno affrontato il problema delle correzioni ottiche e del proporzionamento delle varie parti del tempio – simbolo della civiltà greca. In particolare, è stato evidenziato come il diametro alla base delle colonne (ml 1,905) sia in relazione proporzionale con l'intercolumnio (ml 4,296) di 4:9, determinando lo stesso rapporto di 1:2,25 che si riscontra anche tra la larghezza e la lunghezza della pianta. Queste analisi, però, anche se corrette, non sono accettabili da un punto di vista metodologico, poiché i rapporti proporzionali dovrebbero essere studiati, considerando le misurazioni espresse sulla base del piede attico (cm 29,6), l'unità di misura quasi sicuramente impiegata nella costruzione dell'opera, e non già con il metro, unità del tutto estranea al contesto costruttivo del tempio. Un tale procedimento consentirebbe di valutare i rapporti in termini di multipli e sottomultipli dell'unità di misura. Questa esigenza diviene ancora più sentita, qualora si voglia affrontare il problema relativo ai rapporti proporzionali intercorrenti tra le misure in pianta e quelle in alzato. Gli studi fino ad oggi effettuati sulle relazioni proporzionali del prospetto del Partenone risultano poco attendibili, a un riscontro dimensionale. Si veda, ad esempio, l'ipotesi avanzata dal Martin circa la costanza del rapporto 1:2,25 anche tra l'altezza (fino alla linea di gronda) e la larghezza del prospetto. Verifiche ba-

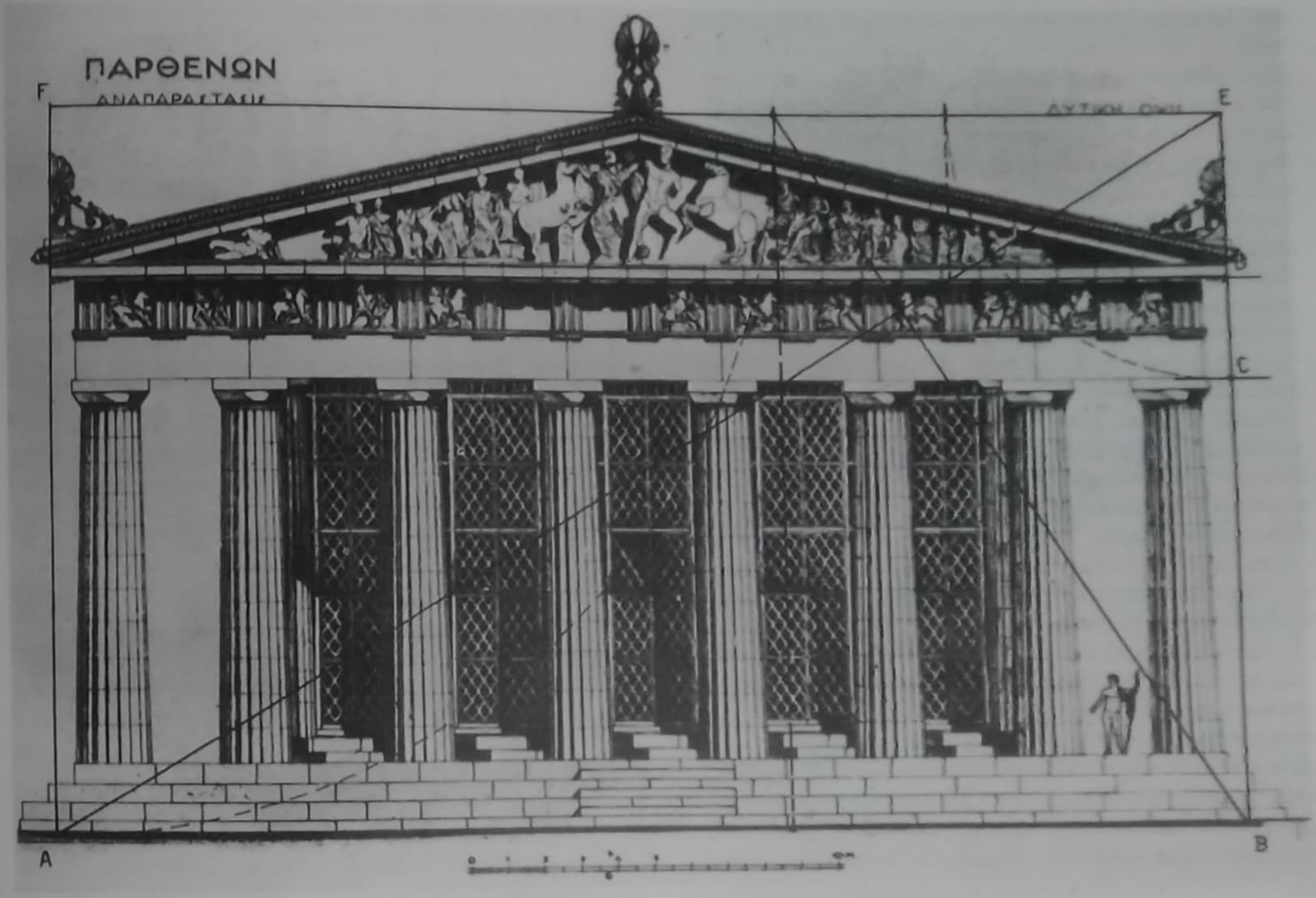


Fig. 109. Atene, fronte ovest del Partenone. Ricostruzione ed esemplificazione dei rapporti esistenti tra le principali parti della facciata.

sate sui rilievi pubblicati da Orlandos portano, però, ad escludere tale ipotesi. Partendo dai succitati rilievi, si sono effettuati alcuni controlli, dai quali è scaturita un'ipotesi da citare, anche se, per una definitiva conferma di essa, occorrerebbe effettuare alcuni controlli dimensionali mediante rilevamento finalizzato a tale scopo (fig. 109). Il rettangolo ABEF, che circoscrive il prospetto ovest, ha i lati legati dal rapporto di 1,617; analogamente, l'altezza della trabeazione da terra (BC) stabilisce, con l'altezza complessiva (BE), un singolare rapporto, pari a 1,620. Questo si ripete, quasi esattamente, anche tra le altezze BC e CE e tra CE e CD. Come si può dedurre dalla fig. 109, i rapporti sono pressoché simili a quello che, con terminologia moderna, viene detto «sezione aurea». Potrebbe trattarsi di una semplice coincidenza, ma se così fosse, si tratterebbe di un caso assai raro. Occorre allora domandarsi se ci si trovi di fronte a un procedimento intenzionale, messo in atto

dal progettista nel programmare la costruzione dell'edificio. Nella fig. 110 si è ipotizzato un procedimento grafico, il quale parte dal rettangolo che circoscrive la facciata, che ha i lati di 108 e di 67 piedi. Tutto ciò, nell'ipotesi che il progettista sia partito dalle misure generali, conscio di voler utilizzare due numeri interi, il cui rapporto sia un numero irrazionale prossimo al fatidico 1,618. Il problema non cambia, se si costruisce prima il quadrato AF21 e quindi, partendo dalla metà del suo lato (1/2), si traccia l'arco di circonferenza di raggio 1/2-2, fino a intersecare il prolungamento del lato A1 del quadrato, nel punto B, dal quale passa il lato (BE) del rettangolo, avente le proporzioni più volte richiamate. Per completare la costruzione grafica, si traccia la diagonale del rettangolo e si determina il punto d'intersezione di questa con il lato del quadrato, individuando il punto 3; per tale punto si traccia una retta orizzontale, che rappresenta la parte inferiore della trabeazione. Dal punto E si riporta il segmento EC sul lato superiore del rettangolo e si determina il punto 4, dal quale si cala una perpendicolare fino al punto 5. Partendo da esso, si traccia una retta orizzontale, che costituisce la parte inferiore del *gheison*. Come si può osservare nella figura, la facciata risulta così composta da una serie di rettangoli strettamente connessi tra di loro, che hanno i lati legati dal rapporto costante 1,618. Questa ipotesi, per essere considerata valida, deve presumere la conoscenza, da parte del progettista, del rapporto che intercorre tra un segmento di lunghezza AB e la divisione di questo in due parti tali che si abbia la seguente relazione: $AB:AX = AX:XB$, dalla quale si ricava $X2 + X - 1 = O$. Come è noto, questa relazione, opportunamente sviluppata, porta a determinare il numero irrazionale 0,618033..., meglio noto come *sezione aurea* (fig. 111). Occorre allora domandarsi se, sia pure con termini diversi, questo concetto fosse noto nel 447 a.C., epoca d'inizio dei lavori di costruzione del Partenone. Per rispondere affermativamente a questa domanda, occorrerebbe passare in rassegna lo sviluppo del pensiero matematico e geometrico nell'epoca classica[21], ma per poter affermare con sicurezza che questi concetti sono stati effettivamente impiegati nella realizzazione del prospetto del Partenone, bisognerebbe verificare, con uno specifico rilevamento, espresso in piedi attici, quali siano i rettangoli aventi lo stesso rapporto[22].

Anche nell'architettura romana, benché meno studiata sotto questo aspetto, non mancano esempi in cui si possono riscontrare semplici rapporti proporzionali, sia nella pianta che nell'alzato degli edifici. I concetti di proporzione e di modularità, infatti, non erano certo sconosciuti a quel popolo: molti passi dell'opera di Vitruvio[23] testimoniano quale attenzione prestasse l'autore alle teorie greche in proposito e come i Romani traducessero i concetti citati in schemi ordinatori, basati sulla commensurabilità delle parti, su rapporti semplici e sulla simmetria. Sicuramente rilevamenti di edifici romani di età imperiale, esemplificati in grafici quotati e analizzati con l'ausilio del testo vitruviano, permetterebbero di giungere a risultati interessanti.

Nei secoli successivi, dapprima nell'ambito della civiltà bizantina e poi nel corso di quella altomedievale, i rapporti proporzionali, la ricerca di un ordine fra le varie parti e la simmetria vennero studiati, in architettura, ed espressi mediante semplici forme geometriche (quali il quadrato e il rettangolo), disposte, a volte, a formare relazioni spaziali alquanto complesse tra loro, interessanti la volumetria interna piuttosto che quella esterna. Il piede, con i suoi multipli e sottomultipli, è spesso alla base delle opere architettoniche bizantine e carolinge e ne ritma i rapporti spaziali. Nel Medioevo, con lo sviluppo degli studi matematici e geometrici, anche il bagaglio culturale utilizzato nell'ideazione dei grandi edifici aumentò considerevolmente; più che i rapporti armonici o quello «aureo», però, furono adoperati schemi geometrici costruiti sul quadrato e sul rettangolo, ma anche su vari tipi di triangoli utilizzati nell'Antichità.

Il primo Medioevo applica schemi geometrici che adottano soprattutto il quadrato e i triangoli, in pianta e in alzato, e solo in seguito svolge temi con modularità più complessa e a tre dimensioni. Normalmente, il collegamento tra le misure in larghezza delle navate e l'altezza di esse o altri rapporti tra misure planimetriche e alzato sembrano avvenire più per moltiplicazione di uno schema proporzionale bidimensionale che per modularità volumetrica[24]. La ricerca di rapporti ottimali tra le varie parti di un organismo architettonico e fra queste e l'intero edificio, tali però da tener conto nello stesso tempo dell'elemento «umano» e da tendere a realizzare un'armonia apportatrice di valori universali, trova la massima applicazione nel Rinascimento. In molti monumenti, infatti, e particolarmente in quelli toscani, si sono riscontrati stretti rapporti dimensionali tra elementi affini, sia strutturali che di finitura[25].

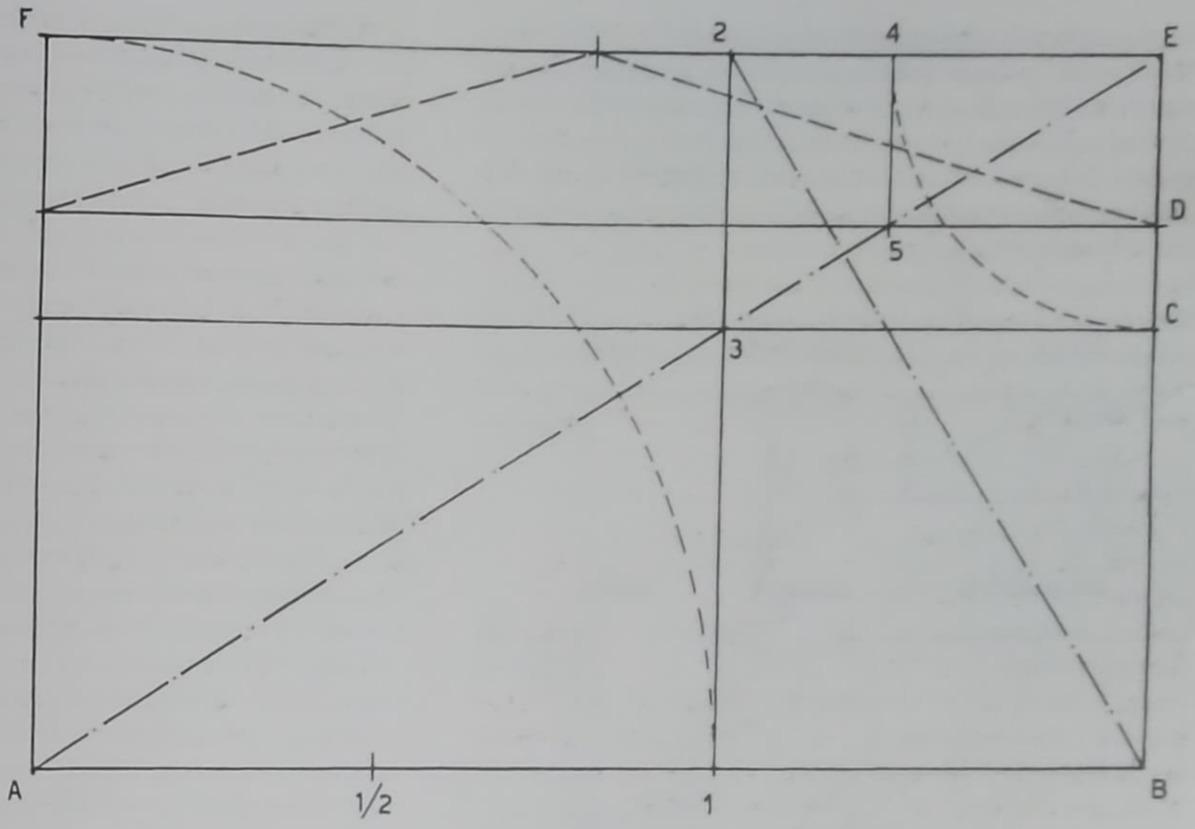


Fig. 110. Schema di ipotesi progettuale per il proporzionamento del fronte ovest del Partenone.

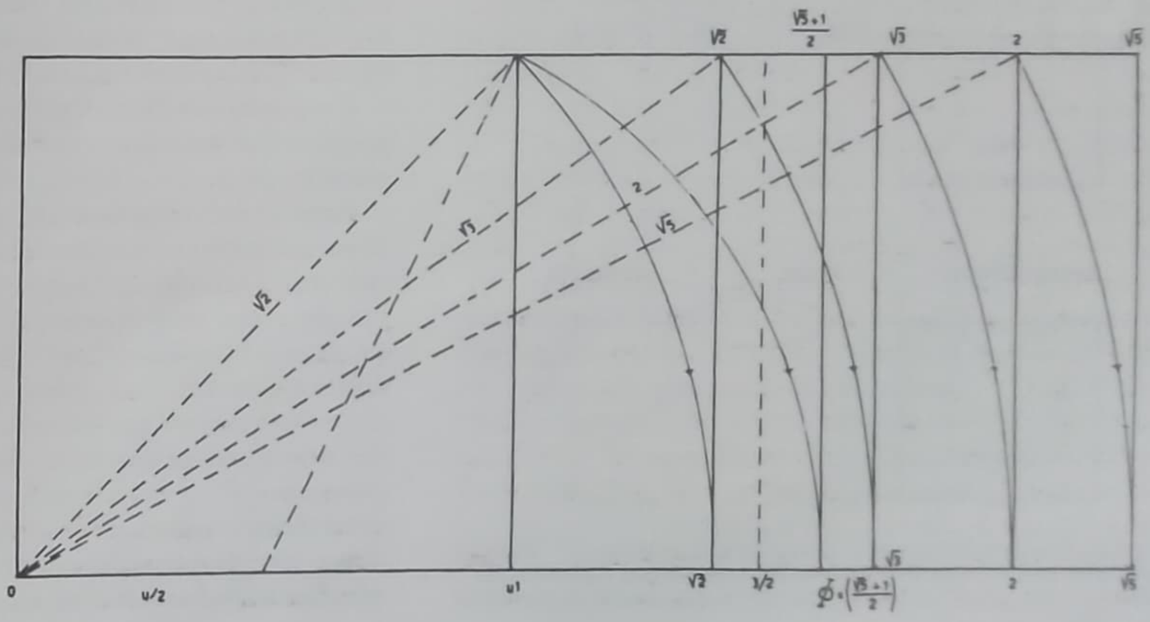


Fig. 111. Principali schemi di proporzionamento basati sul ribaltamento della diagonale del quadrato e su quella dei successivi rettangoli.

La composizione architettonica si sostanzia, analogamente a quanto avviene nella musica, di un proporzionamento derivato dall'utilizzo di determinati rapporti armonici (1/1 unisono, 1/2 ottava o diapason, 2/3 quinta o diapente, 3/4 quarta o diatesseron ecc.), che scandiscono le varie parti, le rette e gli allineamenti principali, gli archi e i punti nodali del volume spaziale (fig. 112).

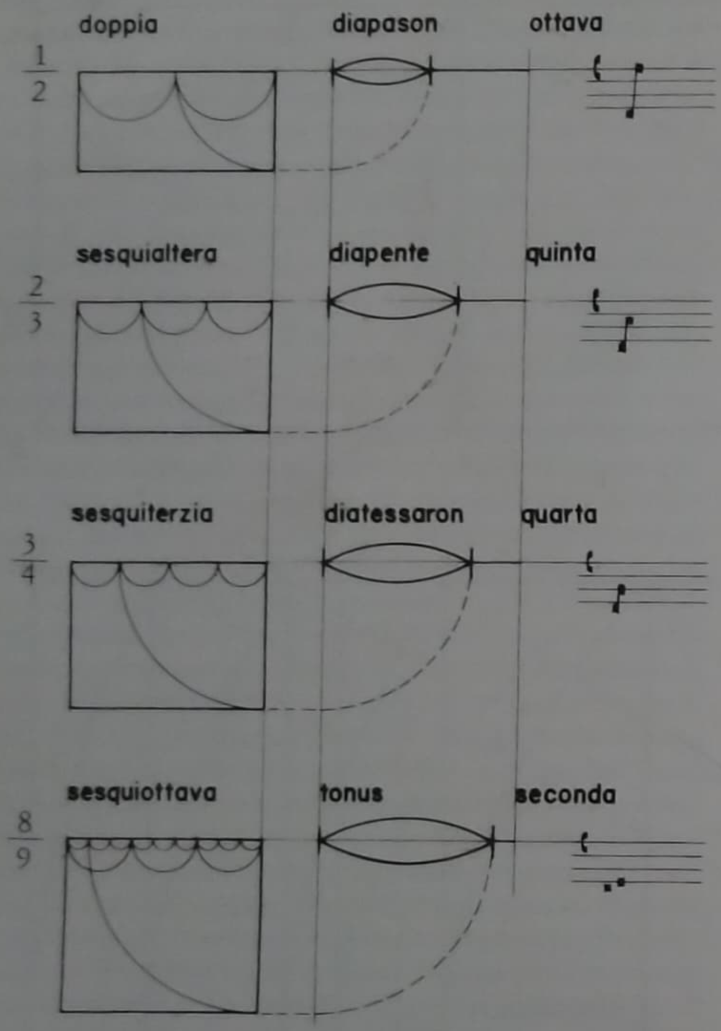


Fig. 112. Alcuni rapporti musicali utilizzati nelle architetture rinascimentali e raffronto con il corrispondente proporzionamento grafico condotto dagli architetti.

Il Rinascimento opera, in architettura, cercando di definire, attraverso rapporti armonici e trame geometriche, un sistema compositivo spaziale: i moduli che suddividono le piante descrivono anche la trama altimetrica e l'unità mensoria adottata viene scelta sia come misura unitaria, sia come modulo di rapporti numerici. Interno ed esterno di un edificio sono riferiti ad un unico reticolo dimensionale, con moduli legati a serie numeriche ben definite.

Le teorie di Wittkower[26] e gli studi successivi di Bartoli[27] su talune architetture fiorentine hanno evidenziato l'importanza di queste ricerche, indicato la via da seguire per ulteriori indagini e messo in luce aspetti fondamentali tanto della lettura architettonica, quanto di alcune personalità di rilievo. Nelle architetture di Brunelleschi, ad esempio, in cui i rapporti armonici ritmano le partiture costruttive e il reticolo modulare basato sul braccio fiorentino scandisce l'intero organismo, come nelle ricerche di Francesco di Giorgio Martini sulle similitudini proporzionali tra edificio e corpo umano, nelle teorizzazioni di Alberti sui sistemi di rapporti numerici e nelle serie numeriche proposte da Palladio per progettare un intero edificio, la teoria delle proporzioni è attentamente analizzata e, in parte, anche attuata.

Molti sono gli esempi che si possono citare sullo studio delle proporzioni effettuato mediante il rilevamento delle strutture architettoniche, tra i quali particolarmente probanti quelli sulle chiese fiorentine di San Lorenzo[28] e di Santo Spirito[29]. Nel primo caso Lando Bartoli[30], attraverso l'analisi dimensionale della pianta (fig. 113) e degli alzati, fondata sul braccio fiorentino e su moduli proporzionali a maglia ortogonale (2 x 2 e 11 x 11 braccia), determina le scansioni delle membrature architettoniche, che appaiono legate da rapporti armonici puri o aritmetici, sia nelle superfici delle singole pareti, sia nello spazio, essendo tutti gli elementi vincolati entro uno schema reticolare, esaltato dalle operazioni proiettive. Proporzioni basate su rapporti musicali e prospettiva sono infatti, secondo Bartoli, i due principali fattori della composizione architettonica brunelleschiana. Mediante l'individuazione del modulo di base (11 x 11 braccia), egli pone in rilievo il metodo proporzionale con cui l'impianto planimetrico è stato ideato, proporzionamento che si trasmette direttamente agli elementi verticali. In particolare, l'unità di misura antica, il braccio, è la chiave di lettura che per-

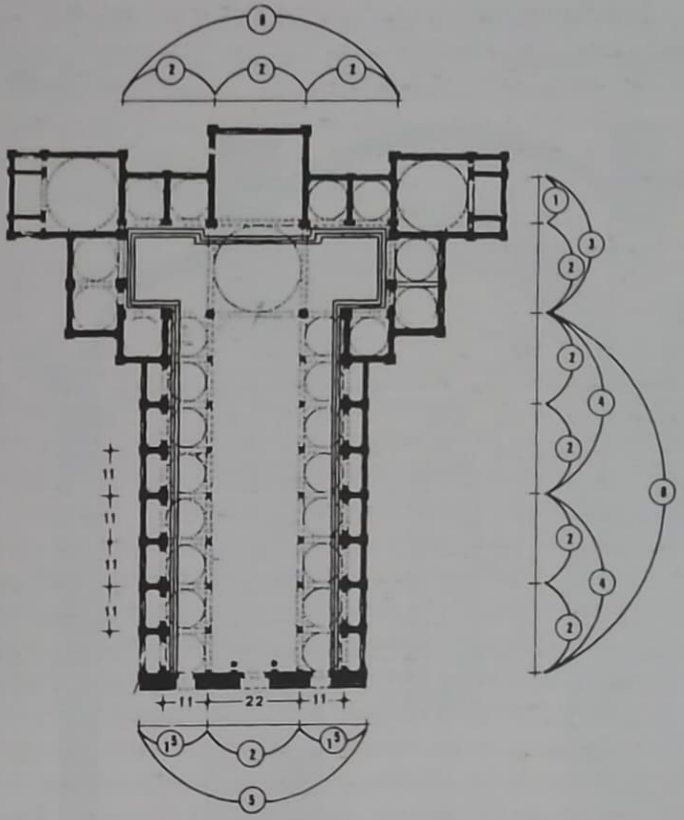


Fig. 113. Firenze, chiesa di San Lorenzo. Schemi proporzionali basati su modulo di 11 braccia (cfr. L. Bartoli, 1984).

mette di cogliere l'organicità intrinseca di questi edifici. La delineazione di un reticolo ad angoli retti, di un braccio di lato, consente di posizionare tutte le membrature architettoniche, così come i reticoli modulari di 4, 5, 6, 8, 10, 11 braccia formano maglie proporzionali, entro cui ricadono le principali strutture portanti e di orditura spaziale, oltre che i vari ambienti, posti in relazione tra loro mediante successioni di rapporti armonici. Analoghi risultati Bartoli consegue, con lo stesso metodo di lavoro, nello studio della Sagrestia Vecchia della stessa chiesa, ove un reticolo proporzionale di 2 x 2 braccia di lato collima con le principali specchiature architettoniche, secondo medie aritmetiche affidate ai numeri 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 14 e 16.

L'indagine sulla basilica di Santo Spirito di Firenze, effettuata da Leonardo Benevolo, Stefano Chieffi e Giulio Mezzetti, è emblematica della necessità di rilevare e leggere l'architettura antica con l'ausilio dell'unità dimensionale in uso al momento della costruzione. Tra i problemi affrontati nella ricerca, due riguardano proprio l'individuazione del sistema di quotazione antico e la concezione costruttiva basata su uno schema modulare. A questo proposito, gli autori rilevano: «Ma la costruzione modulare di Santo Spirito – come degli altri edifici brunelleschiani – diventa evidente solo passando dalle misure moderne in metri alle misure antiche in braccia,

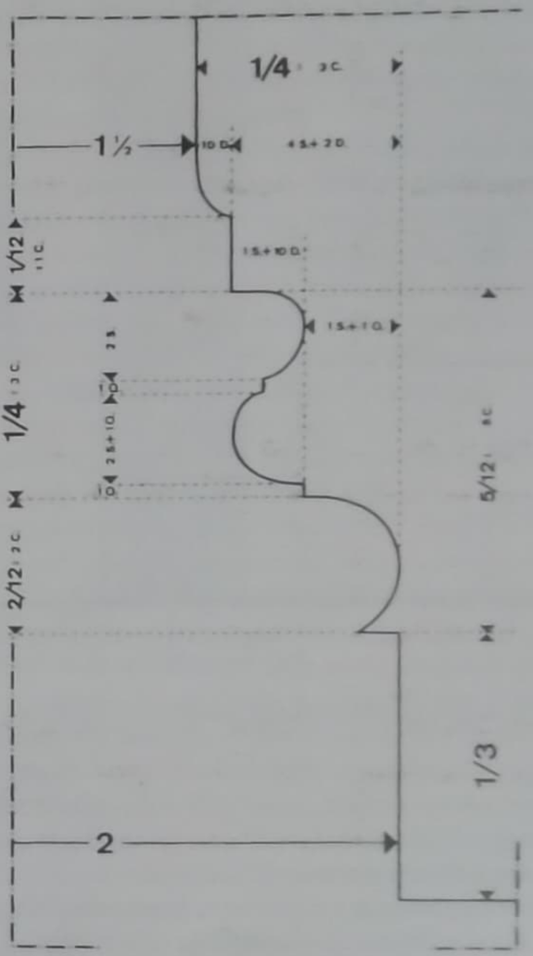


Fig. 114. Firenze, chiesa di Santo Spirito. Profilo della base di una colonna in cui sono esemplificati i rapporti tra dettagli (D = denari; Q = quattrini; S = soldi; C = crazie). Rilevamento L. Benevolo, S. Chieffi, G. Mezzetti.

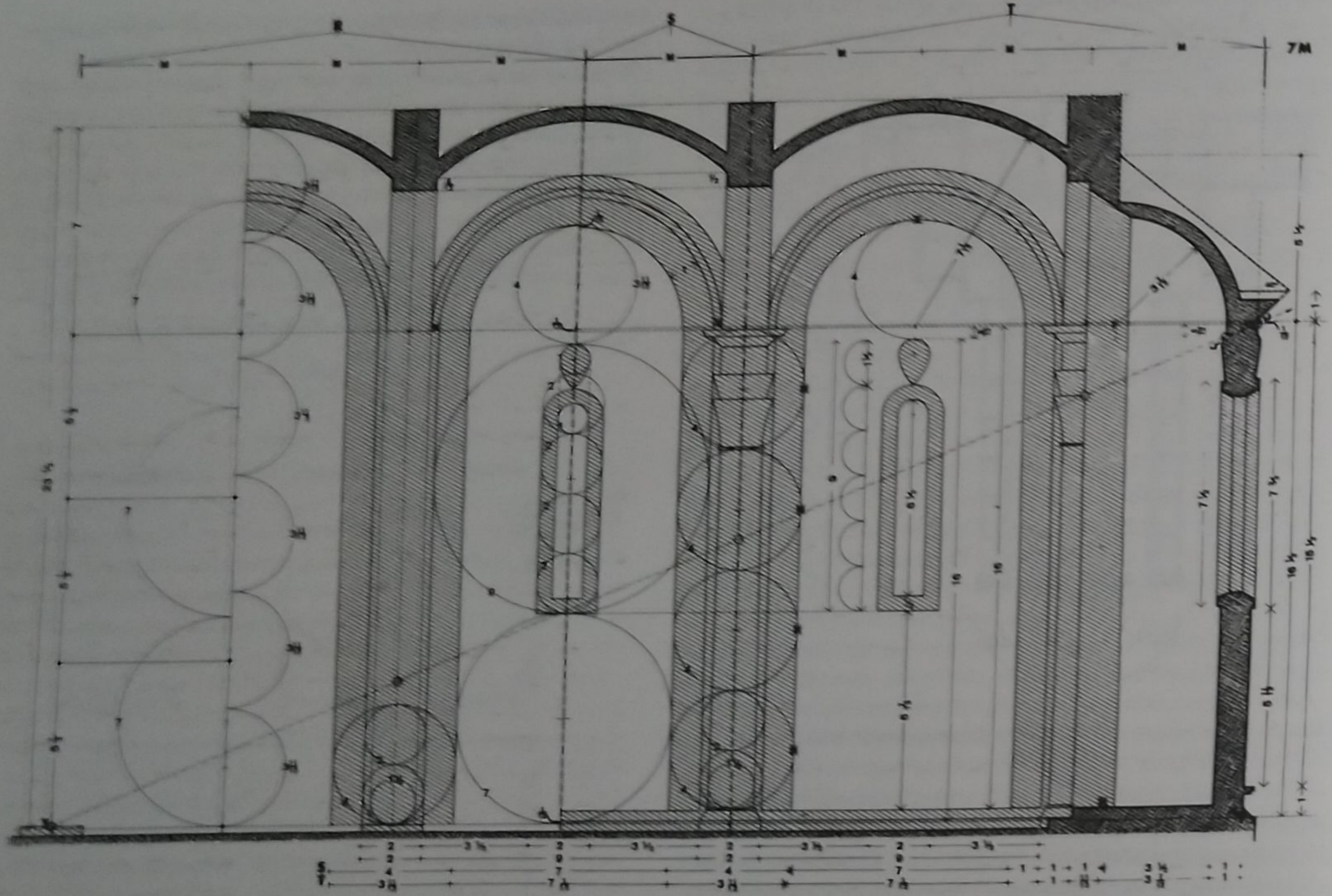


Fig. 115. Firenze, chiesa di Santo Spirito. Schema modulare di parte dell'interno (le misure sono espresse in braccia). Rilevamento L. Benevolo, S. Chieffi, G. Mezzetti.

soldi e denari; essa infatti, è una razionalizzazione del sistema tradizionale di quotatura, non una costruzione matematica sovrapposta alle operazioni di Cantiere».

Il rilevamento e la trascrizione puntuale delle quote in braccia e nei relativi sottomultipli, crazie e soldi, quattrini e denari, ha consentito di individuare i moduli che sovrintendono all'intelaiatura generale dell'edificio (modulo di 5 braccia e mezzo), alle partiture architettoniche principali (modulo di un braccio)[31] e alle membrature di finitura in pietra (modulo di una crazia). Un risultato interessante, frutto del rilevamento effettuato dagli autori, è quello dell'individuazione, nel dodicesimo di braccio (la crazia), del «probabile unico sottomultiplo modulare di Santo Spirito» (figg. 114, 115).

Il modo nuovo di «fare architettura» di Brunelleschi risalta proprio grazie alla lettura in chiave prospettico-modu-

lare dell'edificio: l'orditura generale non è, come nelle costruzioni medievali, matrice atta a definire compositivamente l'organismo stesso, ma organizzazione univoca degli elementi seriali su un impianto modulare ritmato, che trova valore nella commensurabilità delle varie parti e che deve essere rispettato anche nei particolari. Lo schema modulare ad assi ortogonali, la preferenza per le quote intere, l'uso di rapporti semplici (1:2; 3:4), gli stessi utilizzati nel sistema musicale, definiscono la spazialità della chiesa in oggetto e sono chiaramente espressi dall'unità di misura antica.

Recentemente, un notevole contributo all'analisi proporzionale di architetture fiorentine e toscane in genere è stato offerto da Emma Mandelli[32], la quale, sulla base di una cospicua campagna di misurazione, tendente a porre in evidenza i caratteri morfologici delle fabbriche rinascimentali studiate, ha sottolineato, soprattutto a proposito delle facciate, i rapporti proporzionali fondati su un modulo[33], su reti quadrate o sulla sezione aurea. L'attenta analisi dimensionale basata sul braccio fiorentino ha permesso di individuare, relativamente alle facciate su cortile di vari palazzi, sia lo schema geometrico progettuale, sia il modulo di 2,5 o 3 braccia fiorentine (identificato con la «fascia davanzale», compresa tra il piano terra e il primo piano), adottato per il proporzionamento (fig. 116). Le altezze dei piani sono infatti, normalmente, multipli di quella misura base. Altre interessanti caratteristiche compositive sono state messe in luce con il dimensionamento modulare dei prospetti e dei dettagli, come il posizionamento dell'ingresso principale rispetto all'intera facciata, il rapporto altezza-larghezza di prospetto, la scansione delle aperture del piano terra, spesso non verticalmente in linea con quelle dei piani superiori ecc.

Attraverso il rilevamento e l'analisi dimensionale condotta sulla base dell'unità di misura antica si comprende come, in passato, il proporzionamento basato su numeri incommensurabili come la radice di due venisse effettuato mediante procedimento essenzialmente grafico: ad esempio, quello del ribaltamento, su un lato, della diagonale del quadrato, il cui lato stesso formava la larghezza di una finestra.

Durante il periodo Barocco, gli studi sul proporzionamento, che fino al secolo XVI avevano, in un certo modo, cercato una verità oggettiva nella progettazione architettonica, perdono molta della loro importanza e divengono oggetto di ricerca individuale.

In questo periodo, però, sulla base delle molteplici edizioni dei trattati di architettura, l'uso degli ordini e l'impiego del proporzionamento modulare divengono patrimonio culturale di molti architetti di provincia. Ed è proprio mediante il rilevamento delle loro opere e le ricerche d'archivio che si riuscirà, forse, ad approfondire gli studi su tale epoca, passando dalla fase intuitiva a quella dell'analisi su dati di fatto, come è accaduto, ad esempio, nel caso dell'architetto piemontese settecentesco Francesco Ottavio Magnocavalli e della progettazione di varie sue opere, tra cui la facciata della chiesa di Santa Croce, a Casale Monferrato, studiata e rilevata da Gianamedeo Trabucco[34].

Il reperimento di alcuni documenti olografi di Magnocavalli, in cui si trovano istruzioni per il cantiere, diversi schemi geometrici per il calcolo delle varie parti architettoniche e il dimensionamento, sulla base del modulo, dell'ordine gigante e di quello minore della facciata della chiesa citata, insieme al rilevamento effettuato da Trabucco, hanno permesso non solo di constatare l'effettiva rispondenza generale tra progetto e realizzazione, ma anche di individuare le parti in cui gli operai avevano disatteso le istruzioni del progettista. Due gli ordini presenti nella facciata: quello gigante, basato su un modulo di once 31 e 1/5 (ml 1,26 ca.), e quello minore, con modulo pari a 14 once (ml 0,56), come risulta da un foglio di istruzioni dell'architetto Magnocavalli, datato 26 giugno 1749. Ciò è assai importante, in quanto dimostra che, per risalire al proporzionamento di un edificio del passato, è indispensabile la conoscenza delle unità mensorie dell'epoca e l'individuazione, in particolare, di quella che è servita per la definizione del modulo stesso. Nel caso in esame, ad esempio, si tratta di due multipli dell'oncia casalese (ml 0,040335), invece del piede.

A questo proposito, è da segnalare che l'impiego della tecnologia informatica si è già mostrato di grande aiuto in un tal genere di ricerche. La possibilità di sovrapporre, in tempo reale, al grafico di rilevamento un grigliato modulare basato su una certa unità di misura antica permette una più rapida e sicura ricerca dell'unità mensoria utilizzata, all'epoca, nella progettazione. Questo metodo è stato utilizzato da Ma-

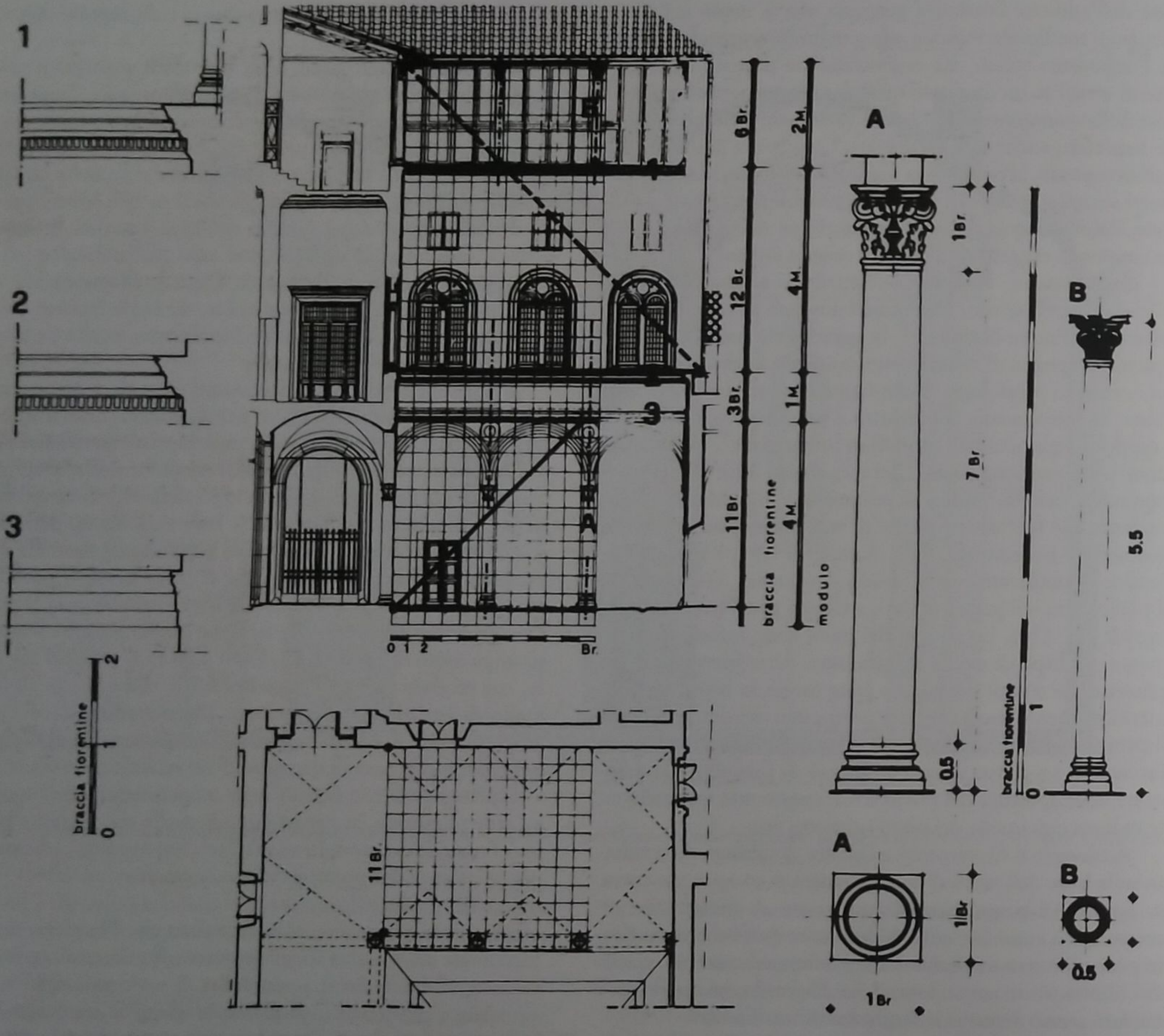


Fig. 116. Firenze, Palazzo Pazzi. Tavola esemplificativa degli elementi compositivi della facciata su cortile. Rilevamento E. Mandelli.

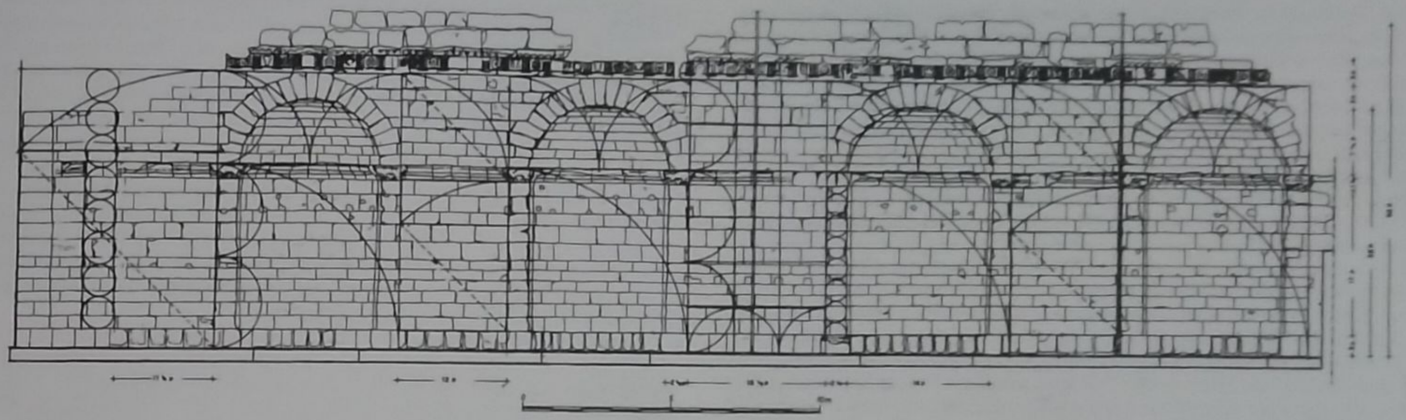


Fig. 117. Restituzione grafica del rilevamento fotogrammetrico dei cosiddetti nicchioni di Todi e schema proporzionale compositivo. Rilevamento Marina Docci, Fabrizio Toppetti.

rina Docci e da Fabrizio Toppetti per lo studio dei cosiddetti «nicchioni di Todi», di epoca romana[35] (fig. 117).

Dalla sovrapposizione della griglia modulare, in piedi romani, all'intero fronte rilevato, gli autori hanno potuto dedurre l'effettivo dimensionamento, basato su multipli e sottomultipli del piede, e definire lo schema generale di proporzionamento e le figure geometriche modulari delle parti principali. L'ordine architettonico a lato delle nicchie presenta un'altezza di otto moduli per uno di larghezza, alla base, pari a due piedi e due palmi (cm 74 ca.), e un'analoga proporzione caratterizza l'ordine maggiore, mentre sul quadrato (16 piedi ca. di lato) sono impostate le quattro nicchie, che sono di larghezza praticamente costante, a differenza degli intervalli di muro compresi fra le stesse, che aumentano dai margini verso il centro.

Da quanto sopra esposto scaturiscono una metodologia per lo studio del proporzionamento di un edificio e vari suggerimenti per l'individuazione dell'unità modulare, partendo dai grafici di rilevamento.

Occorre, naturalmente, conoscere le unità di misura più comuni utilizzate in zona o dal progettista dell'opera prescelta, ponendo particolare attenzione ai sottomultipli delle unità principali, in quanto questi hanno svolto spesso un ruolo fondamentale nella progettazione e un certo numero di essi può costituire il modulo stesso. L'individuazione delle unità di misura va fatta principalmente tramite l'analisi dimensionale dei pieni e dei vuoti. Altezza e larghezza di un'apertura, spesso legate da rapporti precisi, costituiscono elementi importanti di analisi; in questo caso va sottolineato che il rapporto armonico non sempre poteva essere espresso con precisione in base alle unità di misura usate, anche se, graficamente, poteva essere determinato in sede di progettazione.

L'analisi al computer dei grafici di rilevamento, unitamente a griglie modulari fondate sulle unità di misura principali o su sottomultipli delle stesse, agevola la ricerca dell'unità mensoria utilizzata nella progettazione.

Note

[1] Per maggiori informazioni sul raddrizzamento differenziale vedi M. Fondelli, *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*, Roma-Bari 1992.

[2] Metope, capitelli, basi di colonne ecc. sono tutti dettagli architettonici, spesso anche strutturalmente isolabili dal resto della costruzione, ma che solo nell'insieme trovano giustificazione architettonica. Come si vedrà a proposito dell'ordine architettonico, appare subito chiaro quanto sia arduo concettualmente separare non solo la base di una colonna dal fusto e dal capitello di essa (pur essendo materialmente divisibili tra loro), ma ancor più le singole modanature, ad esempio, all'interno di un dettaglio.

Allo stesso modo vi sono città come Venezia, Firenze ecc. che basano gran parte della loro bellezza sui dettagli architettonici.

[3] Ben diversa è la situazione che si presenta se si studia un palazzo cinquecentesco; in esso, un portale, una finestra, una mensola ecc. risultano anche strutturalmente unitari con il resto della costruzione. L'unitarietà, che è una delle prerogative dell'architettura rinascimentale, consente un minor grado di libertà al dettaglio architettonico.

[4] Un esempio notevole ci è dato dall'osservazione del bugnato sia in opere di diversa epoca, sia come rapporto tra realizzazione e forma apparente. Si prendano ad esempio, per quest'ultimo caso, tre edifici rinascimentali: in Palazzo Rucellai, a Firenze, come ha messo in luce Sanpaolesi (*Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze 1973), la forma apparente del bugnato riveste grande importanza nella scansione ordinatrice e nella tettonica della facciata, mentre quasi nulla ha a che fare con la struttura litica dei vari conci; nel palazzo della Cancelleria, in Roma, si ha, normalmente, una corrispondenza isodoma tra filari di conci e fasce a bugnato, ma non allineamenti verticali tra le due componenti; in palazzo Massimo alle Colonne, pure in Roma, la ripartizione del bugnato, al piano terra, scandisce invece in senso verticale, simmetricamente, le lastre di travertino, che contengono più bugne e a loro volta sono delimitate dalle paraste. È chiaro, quindi, che nel primo caso la progettazione del bugnato è indipendente dalle dimensioni dei blocchi, nel secondo ha tenuto conto solo del parametro «altezza del blocco-altezza del bugnato», mentre nel terzo la grandezza dei blocchi deriva da una precisa scelta progettuale, pur essendo la dimensione del bugnato indipendente dalle lastre lapidee stesse.

[5] Cfr. F. Giovannetti (a cura di), *Manuale del recupero del Comune di Città di Castello*, Roma 1992, che riporta varie categorie di particolari (le murature, le volte, i solai, i tetti ecc.), finalizzando la ricerca come guida al progetto di restauro antisismico.

[6] Cfr. P. Marconi (a cura di), *Manuale del recupero del Comune di Roma*, Roma 1989, quale risultato di una ricerca volta a fornire indicazioni metodologiche per interventi di restauro su edifici antichi, attraverso l'esemplificazione di un repertorio di tecniche costruttive.

[7] Si dà qui l'esposizione della tematica inerente gli ordini architettonici, isolandoli dall'opera di cui fanno parte (ciò che, invece, nell'esecuzione di un rilevamento architettonico non può certo avvenire e appare proponibile solo per poter mantenere entro limiti ristretti la trattazione stessa). Per una disamina approfondita sugli ordini architettonici, si rimanda agli egregi studi prodotti da personalità quali A. Bruschi, G. Zander, S. Benedetti, C. Tiberi ecc. Si accennerà, pertanto, ai caratteri peculiari degli ordini, solo quando sarà necessario per mettere in luce determinati aspetti utili per il rilevamento.

[8] L'ordine tuscanico viene attentamente analizzato da Vitruvio, non come ordine a se stante, ma come uno degli elementi costitutivi del tempio delle *Tuscanicae dispositiones* (libro IV, cap. VII).

[9] Si pensi, ad esempio, alla scozia o trochilo, utilizzata in Grecia, in Asia Minore, a Roma e dal Medioevo in poi e, sempre a proposito dello stesso elemento, alla forma assunta, definita e utilizzata, di volta in volta, da Brunelleschi, da Vignola, da Palladio, da Pietro da Cortona, da Michelangelo e da Borromini, solo per fare qualche nome.

[10] Per i dettagli, come per l'intero ordine, si hanno dunque molteplici varianti, riscontrabili, ad esempio, fra i templi dorici della Grecia (Nemea, Atene, Partenone e Theseion), fra quelli della Magna Grecia (Siracusa: tempio di Apollo; Selinunte e Paestum) e fra quelli dell'Asia Minore (Pergamo: tempio di Dionisio, tempio di Atena Poliade), oppure individuabili all'interno di ogni regione.

[11] I Romani associarono i modiglioni preferibilmente all'ordine composito, ma non mancarono esempi di essi anche in trabeazioni di ordine corinzio. Al contrario, nel Cinquecento, Scamozzi, Vignola, Palladio e altri inserirono i modiglioni nelle trabeazioni di ordine corinzio e non in quelle di ordine composito, fatte sempre le debite eccezioni.

[12] Per richiamare alla memoria i criteri del proporzionamento nella loro forma più generale, si potrà far riferimento a norme comuni ai diversi trattatisti, mentre, per una definizione più particolareggiata dei singoli elementi che compongono l'insieme, può essere sufficiente concentrare l'attenzione indifferentemente su una tra le interpretazioni che sono state date. Questa operazione risulta lecita solo se si assimilano le regole compositive che governano l'ordine alle regole che sovrintendono alla composizione del testo letterario. Come afferma Robert Chitam in *Gli ordini classici in architettura*, Milano 1987, «gli ordini sono strettamente legati l'uno all'altro da una serie ulteriore di progressioni matematiche e dal modo in cui le loro modanature si sviluppano dalla semplice alla più elaborata. Di conseguenza, nel loro complesso costituiscono un sistema completo analogo ad una lingua, la quale si conforma a regole di grammatica e di sintassi, adatta ad essere usata in modo letterario, ma vulnerabile all'abuso dell'analfabeta». Come per una lingua, gli ordini sono suscettibili di sviluppo con il passare del tempo, ma rimangono ugualmente riconoscibili attraverso i secoli durante la loro evoluzione.

[13] Cfr. A. Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, libro IV, cap. V.

[14] Per lo studio delle modanature si può fare riferimento alle opere dei trattatisti rinascimentali già citati, oltre alle molte riedizioni dei trattati cinquecenteschi succedutesi fino all'inizio del nostro secolo: cfr., ad esempio, G.A. Boidi-Trotti, *Il Vignola degli studenti, contenente i cinque ordini di Giacomo Barozzi, confrontati cogli antichi e moderni*, Torino 1886.

[15] Un esempio di combinazione delle modanature è dato dalla costruzione delle tre diverse basi: la toscana, l'attica e la ionica, alte tutte mezzo modulo; secondo Palladio, la base toscana è larga un modulo e mezzo e si disegna dividendo l'altezza in due parti, una delle quali è destinata al plinto. La parte residua si divide in quattro: una parte si dà al listello circolare che raccorda il fusto alla base, il resto appartiene al toro. La base attica, per Vitruvio, ha una larghezza di un modulo e mezzo e un'altezza di mezzo modulo e si costruisce nel modo seguente: si divide in tre l'altezza e il terzo inferiore si dà al plinto; i due superiori si dividono in quattro parti e il quarto di sopra si dà al toro superiore; quello che resta si divide ancora in due parti e una di queste è per la scozia e l'altra per il toro inferiore. Secondo Vignola, la base ionica è larga circa un modulo e un terzo; per costruirla si divide l'altezza in tre parti e si assegna il terzo inferiore al plinto; quello che resta si divide in sette parti, tre delle quali si danno al toro superiore, e le restanti, in parti uguali, alle due scozie con i relativi listelli.

[16] A questo proposito, cfr. D. Maestri, M. Centofanti, *Image et realite de l'architecture: problèmes conceptuels d'interpretation et de representation*, in G. Hadjiev (a cura di), *Contributions of Modern Photogrammetry Remote Sensing and Image Processing Methods to the Architectural and Urban Heritage*, Atti dell'XI Simposio internazionale, CIPA-ICOMOS, Sofia 4-7 ottobre 1988, Sofia 1989.

[17] In architettura, con il termine «proporzione» si allude ai rapporti che intercorrono tra le varie parti e tra queste e l'insieme. Quanto alle due condizioni, è naturale che siano indispensabili, dovendo trattare il proporzionamento di rapporti e numeri; infatti, solo con un rilevamento attendibile per forma e misure le analisi dimensionali risulteranno valide e solo attraverso la conoscenza dell'unità di misura antica, tali analisi saranno plausibili, specie per lo studio di dettaglio. Per una bibliografia generale sull'argomento, cfr. F. Borsi, *Per una storia della teoria delle proporzioni*, in «Quaderno» della Cattedra di Disegno della Facoltà di Architettura di Firenze, 1966, n. 2; e J.A. Ruiz de la Rosa, *Traza y Simetria de la Arquitectura en la Antiguedad y Medievo*, Sevilla 1987. Di questo stesso autore è da ricordare anche il saggio *Hacia un Nuevo Concepto de Teoria de la Proporción: el Control de la Forma en la Historia de la Arquitectura*, in «Atti del Convegno di Studi su 'Il disegno di progetto dalle origini a tutto il XVIII secolo'», Roma 22-24 aprile 1993, Roma 1997.

[18] La bibliografia in proposito è molto vasta; cfr., ad esempio, I.H. Cole, *Survey of Egypt Paper nr. 39: Determination of the Exact Size and Orientation of the Great Pyramid of Giza*, Il Cairo 1925; L. Borchardt, *Langen und Richtungen der vier Grundkanten der Grossen Pyramide bei Gise*, Berlin 1926; P. Cipriani, *Cheope e Chefren: notevole relazione ciclometrica scoperta nel quadrato*

di Ahmes, Rovigo 1928; M.C. Ghika, *Le nombre d'or*, Paris 1931; Id., *Estetica de las proporciones en la Naturaleza y en las Artes* (1927), Barcelona 1979.

[19] Le molte ricerche puramente grafiche, fondate su moduli ipotetici o pratici (quale quello del diametro delle colonne), anche se basate su rilevamenti attendibili, ma non espressi nelle unità dimensionali antiche, più che portare contributi alla conoscenza dell'architettura classica, portano sovente alla stesura di confusi schemi geometrici.

[20] Anche per quanto riguarda l'architettura greca, la bibliografia sull'argomento è assai vasta; per la loro utilità vanno citati almeno due volumi, assai diversi tra loro: quello di C.J. Moe, *Numeri di Vitruvio*, Milano 1945; e quello di Ruiz de la Rosa, *Traza y Simetria de la Arquitectura* cit., che tratta proprio della progettazione in relazione agli schemi geometrici e proporzionali. Ad esso si rimanda, anche per un'ampia bibliografia inerente l'Antichità e il Medioevo.

[21] I Pitagorici, tra il VI e il V secolo a.C., oltre a dedicarsi allo studio della mistica dei numeri, collegando questi ad alcune figure elementari (triangoli, quadrati, pentagoni ecc.), si applicarono anche alla ricerca delle proporzioni tra numeri interi. Essi conseguirono risultati assai interessanti nello studio di rapporti semplici tra numeri, ponendoli in relazione alla musica, mediante la lunghezza delle corde, attraverso il rapporto di numeri interi, quali 2:3 (diapente) o 3:4 (diatessaron) ecc. Inoltre, la scuola pitagorica si dedicò allo studio dei numeri irrazionali, ottenuti attraverso il rapporto di due numeri interi. Platone attribuì ai numeri disposti in queste sequenze: 1, 2, 4, 8 e 1, 3, 9, 27, la capacità di regolare l'armonia del cosmo e di rappresentarlo attraverso questo schema

1
2 3
4 9
8 27

Ai fini dell'argomento in oggetto, interessano particolarmente i contributi di Ippocrate di Chio, attivo ad Atene tra il 450 e il 420 a.C., che può essere considerato il primo geometra greco; egli dedicò molto tempo ad analizzare problemi di geometria, quali la duplicazione del cubo. Tuttavia, lo studio di maggior interesse è costituito dal problema della media proporzionale tra due numeri. Solo partendo da questo concetto è possibile, infatti, determinare il rapporto che esiste tra un segmento e il punto che lo divide in due parti, di cui una è media proporzionale tra il tutto e la restante. Molte delle ricerche di Ippocrate di Chio furono riprese da Euclide e inserite nel suo celebre *Elementi*. In quest'opera compare non solo la teorizzazione del concetto di medio proporzionale di un segmento, ma l'autore dimostra come, dato un segmento di lunghezza assegnata A, il suo medio proporzionale sia rappresentato dal lato del decagono regolare inscritto in una circonferenza, il cui raggio è fornito dalla lunghezza del segmento A. Euclide presenta, quindi, anche la costruzione grafica per trovare il medio proporzionale di una lunghezza assegnata. Vissuto intorno al 300 a.C., quindi circa 100 anni dopo la costruzione del Partenone, egli ha raccolto nei suoi *Elementi* molti concetti desunti dalle scuole che lo hanno preceduto. Da quanto si è osservato, si può dedurre che, nel tempo in cui veniva realizzato il Partenone, il concetto di medio proporzionale (e anche quello di numero irrazionale) era ben noto e costituiva una delle basi della cultura scientifica dell'età di Pericle.

[22] Non essendo possibile esperire tale controllo, l'esempio riportato va inteso, quindi, come una proposta metodologica, che intende legare il rilevamento al controllo dei rapporti proporzionali. Nuove osservazioni in merito al proporzionamento del Partenone sono state avanzate da M.T. Bartoli, *Le misure del Partenone*, in «Atti del Convegno di Studi su 'Il disegno di progetto dalle origini a tutto il XVIII secolo'», Roma 22-24 aprile 1993, Roma 1997.

[23] Cfr. F. Pellati, *Vitruvio*, Roma 1938. Nel *De architectura libri decem*, Vitruvio tratta soprattutto della teoria delle proporzioni, in base a rapporti numerici, degli edifici sacri (libro III), delle costruzioni doriche e corinzie (libro IV), del teatro (libro V) e della casa (libro VI).

[24] I documenti che di quest'epoca ci restano (fonti letterarie, taccuino di Villard de Honnecourt, disegni di progetto, rapporti sulle discussioni per la costruzione del duomo di Milano ecc.) consentono, insieme agli studi effettuati su molte fabbriche medievali, di ipotizzare l'avvenuto impiego di schemi geometrici nella progettazione di molte opere. Lorenz Lechler (1516), ad esempio, partendo dalle dimensioni del coro di una chiesa, descrive le regole generali per la costruzione dell'intera fabbrica. La bibliografia in merito è vasta, a partire dal sec. XIX; tra gli altri si possono ricordare: A. Thiersch, F.M. Lund, M.C. Ghika, F. Borsi, B. Gerbi Bassi e J.A. Ruiz de la Rosa (cfr. bibl., § *Opere sul rapporto tra metrologia e architettura e sul proporzionamento architettonico*).

[25] Con la pubblicazione del testo vitruviano, con gli approfondimenti sulla geometria e sulla matematica, con lo studio della prospettiva e delle correlazioni in campo proporzionale tra corpo umano ed edificio e con i dibattiti sull'armonia e sulla «sezione aurea», il proporzionamento raggiunge livelli applicativi molto alti. Tale tema è stato svolto da tutti i trattatisti del Rinascimento, specie in relazione alle misure degli ordini architettonici; cfr. Palladio, *I quattro libri dell'architettura* cit., libro I; V. Scamozzi, *L'idea dell'architettura universale*, Venezia 1615, parte II, cap. XII.

[26] Cfr. R. Wittkower, *Principi architettonici nell'età dell'umanesimo*, Torino 1964.

[27] Cfr. L. Bartoli, *Le chiavi del pentagramma architettonico*, in *Banca Toscana. Storia e collezioni*, Firenze 1982; Id., *La basilica di Santa Croce al di là dello spazio e del tempo*, in U. Baldini, B. Cardini (a cura di), *Il complesso monumentale di Santa Croce: la basilica, le cappelle, i chiostri, il museo*, Firenze 1983.

[28] Cfr. L. Bartoli, *La basilica di San Lorenzo nel tempo e nello spazio armonico*, in U. Baldini, B. Nardini (a cura di), *Il complesso monumentale di San Lorenzo: la basilica, le sagrestie e cappelle, la biblioteca*, Firenze 1984.

[29] Cfr. L. Benevolo, S. Chieffi, G. Mezzetti, *Indagine sul S. Spirito di Firenze*, in «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura», serie XV, fasc. 85-90, a. 19.

[30] Cfr. Bartoli, *La basilica di San Lorenzo nel tempo e nello spazio armonico* cit.

[31] Va precisato che la dimensione assunta per il braccio fiorentino, nella ricerca citata, è di cm 58,6 (che è la misura del braccio sicuramente documentata prima della conversione alle unità metriche decimali), e non di cm 58,4 (che è la misura del «braccio da panno», più comunemente accettata), valore, il primo, rivelatosi più adatto allo studio del monumento.

[32] Cfr. E. Mandelli, *Palazzi del Rinascimento. Dal rilievo al confronto*, con scritti di M.T. Bartoli e M. Rossi, Firenze 1989.

[33] Le analisi dimensionali e la quotatura degli schemi di facciata, effettuate da E. Mandelli e M.T. Bartoli, assumono, per il braccio fiorentino, la misura di cm 58,5.

[34] Cfr. G. Trabucco, *L'antico alla base del disegno di progetto nell'opera del casalese F. Ottavio Magnocavalli*, in «Atti del Convegno di Studi su 'Il disegno di progetto dalle origini a tutto il XVIII secolo'», Roma 22-24 aprile 1993, Roma 1997.

[35] Cfr. M. Docci, F. Toppetti, *I nicchioni di Todi. Rilievo e analisi di un frammento di città romana*, Todi 1989.

Capitolo sesto

Metodologie per il rilevamento urbano

La città è un organismo complesso, in cui coesistono edifici, monumenti, spazi, arredi, colore ecc. in relazione tra loro, una struttura quanto mai diversificata, ove l'ambiente originario e le società che vi si sono succedute hanno contribuito a configurare un particolare scenario. La città non è, quindi, una semplice sommatoria di edifici, ma un insieme di relazioni spaziali e costruttive vivificate dalla Storia.

La conoscenza di un centro urbano, pertanto, non può scaturire da quella di edifici specifici, ma deve tener conto della coralità e del singolare modo di costituirsi dello spazio urbano[1], per poter giungere alla lettura approfondita di esso.

Chiunque si accinga a questa delicata operazione, oltre a percorrere gli spazi urbani, per coglierne i valori intrinseci, dovrà necessariamente iniziare una seria indagine storica, che evidenzi i processi di trasformazione da essi subiti. In questa fase sarà utile munirsi di una planimetria in scala 1:1000 o 1:2000, sia per avere una visione d'insieme e la percezione dei vuoti urbani determinati dagli edifici, per cogliere il rapporto tra spazi pubblici e spazi privati, onde comprenderne le relazioni gerarchiche. Una prima analisi sulle modificazioni subite dal nucleo insediativo preso in esame potrà essere condotta operando un confronto tra le planimetrie ricavate da fotografie aeree e le carte catastali (catasto attuale, cessato catasto e catasti ottocenteschi).

Il processo conoscitivo dovrà progredire, poi, attraverso la consultazione di altre fonti: mappe storiche, antichi rilevamenti di settori urbani, di piazze ecc., spesso presenti in archivi di stato e in archivi privati, notizie ricavate da bibliografie e da fondi reperibili in archivi specialistici, fino all'acquisizione di una buona conoscenza di tutte le vicende che hanno portato il centro in oggetto a costituirsi nella sua forma attuale. Ovviamente, con l'accrescersi e il maturare delle cognizioni storiche, risulterà ulteriormente approfondita la percezione fisica degli spazi urbani e delle strutture che li definiscono, tanto da permettere al rilevatore di instaurare un dialogo sempre più accentuato con le opere da rilevare: solo così egli sarà in grado di iniziare correttamente la sua opera.

La scelta del metodo

Alcune osservazioni assai semplici, ma necessarie aiutano ad orientarsi nella scelta del metodo di rilevamento: la documentazione delle relazioni spaziali, in generale, può essere ottenuta mediante elaborati grafici in scala 1:500 o 1:1000 o più, i soli capaci di fornire visioni d'insieme. Altri elementi che concorrono a determinare la scelta di un metodo rispetto ad un altro sono la scala di rappresentazione richiesta e le finalità del rilevamento: queste ultime si possono raggruppare in due grandi categorie: a) rilevamenti finalizzati alla conoscenza, alla catalogazione e all'analisi storico-critica; b) rilevamenti orientati al restauro e alla conservazione dei nuclei insediativi. Nel primo caso, ci si potrà limitare ad una documentazione d'insieme, non essendo necessario raggiungere un elevato grado di precisione o fornire troppi dettagli: è consigliabile, allora, utilizzare metodi semplici, quali il rilevamento diretto, in connessione con quello strumentale tradizionale, assumendo come documentazione di base le planimetrie derivate da restituzioni aerofotografiche o catastali, in mancanza delle prime.

Il rilevamento degli isolati o di singoli edifici può essere eseguito in scala 1:200, sufficiente a fornire una buona docu-

mentazione di sintesi (valida anche nel caso che si debbano indicare cortine stradali), integrata da un parziale rilevamento strumentale per le parti inacessibili oppure sostituita dall'impiego della tecnica del *raddrizzamento planare* da fotogrammi, che permetta la realizzazione di una fotocarta in scala 1:200 dei prospetti.

Quando il rilevamento è finalizzato al restauro, alla conservazione o alla tutela di un centro storico, deve essere, invece, più dettagliato e preciso: obiettivo perseguibile rapidamente, solo mediante rilevamento fotogrammetrico o digitale, il quale, applicato appunto ai centri urbani, si è rivelato particolarmente utile per essere in grado di fornire molteplici informazioni. Le rappresentazioni che se ne ottengono documentano la forma e la natura delle pavimentazioni stradali, degli elementi di arredo urbano, delle coperture, del verde e, infine, con l'integrazione di un'apposita operazione, il perimetro a terra degli edifici.

Da tempo si producono fotopiani in scala 1:500, molto utili per l'analisi del rapporto tra spazi vuoti ed edifici, per lo studio delle coperture ecc.: tra i più significativi, si possono citare quelli relativi ai centri storici di Venezia e di Roma. I fotopiani, realizzati generalmente con fotografie a colori, forniscono immagini molto realistiche delle città, in grado di evidenziare particolarità quali natura e colore dei materiali; offrono, inoltre, un contributo non indifferente all'analisi storica e costituiscono un valido strumento per la tutela dei centri storici, con l'individuazione di abusi edilizi quali ampliamenti, trasformazioni e sopraelevazioni. I fotopiani possono essere utilizzati, entro certi limiti, anche come strumenti metrici, tenuto conto che sono riprodotti in una determinata scala, generalmente di 1:500.

È auspicabile che la documentazione planimetrica dei singoli edifici o delle cortine edilizie sia eseguita in scala 1:200 o meglio in scala 1:100, in modo da risultare soddisfacente per quanto riguarda l'insieme edilizio. Anche il rilevamento dei prospetti va effettuato nella stessa scala, utilizzando il metodo diretto, eventualmente integrato, per le parti inaccessibili, con altri metodi (indiretto, fotogrammetrico, con laser scanner ecc.). Quando le cortine stradali non presentano consistenti aggetti, risulta particolarmente utile l'impiego del raddrizzamento da fotografia e la realizzazione di fotopiani in scala.

Si evidenzia, dunque, per quanto riguarda il rilevamento urbano la necessità di utilizzare diversi procedimenti oggi a disposizione, per l'acquisizione dei dati dimensionali ed architettonici, onde pervenire ad un risultato soddisfacente, sia sotto il profilo dell'attendibilità, sia sotto quello dell'economia[2] (figg. 1, 2).

Il rilevamento dei centri urbani con il metodo diretto

Il rilevamento di un centro urbano, eseguito con il metodo diretto, prevede le seguenti fasi di lavoro:

a) suddivisione del centro storico in settori urbani;

b) esecuzione di disegni preparatorii e di un progetto di prelievo delle misure planimetriche dei vari settori urbani;

c) fase di misurazione planimetrica;

d) esecuzione di disegni preparatorii e di un progetto di prelievo delle misure dei prospetti stradali;

e) operazioni di misurazione dei prospetti dei settori urbani;

f) eventuale rilevamento dettagliato delle singole unità immobiliari (cfr. rilevamento architettonico);

g) stesura delle rappresentazioni planimetriche e dei prospetti stradali dei vari settori urbani, redazione della planimetria generale e delle carte tematiche d'insieme.

Individuazione dei settori urbani. Si è gia detto che la città è un organismo unitario e che come tale deve essere analizzata. Tuttavia, per esigenze pratiche, spesso, occorre procedere all'individuazione di parti omogenee di essa, onde organizzare le operazioni di rilevamento. La suddivisione di un centro storico in una serie di aree omogenee è un'operazione assai delicata, in cui è necessario tener conto di molti parametri: ogni settore deve necessariamente essere di estensione limitata, ma non vanno frazionate zone a morfologia unitaria. In linea generale si tende, se è possibile, a far coincidere il settore urbano con un isolato, cioè con un'area delimitata da tre o quattro strade. Tuttavia, in casi particolari o nel caso di centri di piccole dimensioni, il settore urbano può comprendere anche diversi isolati. Allorché, però, vi siano strade più o meno recenti che tagliano un antico tessuto urbano, occorre che la perimetrazione dell'area in oggetto segua il perimetro del-

Fig. 1. Chieti, corso Marrucino. Rilevamento del piano terra e dei fronti della «spina centrale», particolare della Tav. XLI. Rilevamento urbano coordinato da C. Mezzetti. Cfr. C. Mezzetti (a cura di), *Teate. il disegno di una città*, Roma 2007.

Fig. 2. Chieti, cattedrale di San Giustino. Particolare della Tav. LXXXII. Rilevamento urbano coordinato da C. Mezzetti. Cfr. C. Mezzetti (a cura di), *Teate: il disegno di una città*, Roma 2007.

l'area omogenea e le tracce delle vecchie vie, inglobando le recenti trasformazioni, per assicurare il mantenimento della configurazione originaria.

Suddiviso dunque il centro urbano in settori, ciascuno di essi deve essere contraddistinto da un numero o da una sigla, in modo da poterlo facilmente individuare. Conviene, inoltre, che la perimetrazione sia eseguita in scala 1:2000 o 1:1000 su una planimetria di base, già esistente, anche se non aggiornata, del centro storico. Ovviamente questa operazione dovrà essere effettuata dopo aver acquisito una certa conoscenza, sia storica che fisica, dell'abitato da rilevare. Completata infine la perimetrazione dei vari settori, si può procedere alla redazione dei disegni planimetrici e ai progetti di misurazione generale.

Eidotipo e progetto di rilevamento planimetrico del settore urbano. Il disegno preliminare (o eidotipo) di ciascun settore deve essere ben proporzionato, in scala di riduzione congruente con i fini del rilevamento (1:500, 1:200), redatto servendosi possibilmente di un grafico di base (planimetria catastale debitamente ingrandita ed elaborata, ad esempio) e modificandolo secondo le eventuali trasformazioni osservate sul posto, secondo le indicazioni già date per l'esecuzione della pianta di un edificio. Il grafico di ciascun settore serve a documentare l'andamento delle strade che lo delimitano, nonché eventuali vie interne o altri spazi limitrofi in diretto collegamento con esse. È anche opportuno, se possibile, individuare i limiti delle singole unità immobiliari. Inoltre, il disegno deve contenere l'esatta posizione di tutte le aperture (ingressi, finestre, negozi) del piano terra dei singoli edifici, con l'indicazione del numero civico, della via e di altri dati simili. Un esempio di grafico iniziale che illustra un settore urbano è rappresentato nella fig. 3, relativa al rilevamento del rione Trastevere, a Roma. È consigliabile, infine, disegnare l'eidotipo orientando verso l'alto la parte a nord, come avviene comunemente nelle carte topografiche: questo semplice accorgimento rende più facile il collegamento con la pianta generale e con i grafici degli altri settori.

A questo punto occorre predisporre sul disegno di base il progetto di rilevamento, indicando le eventuali reti di inquadramento, le poligonali e tutte le trilaterazioni da eseguire, in modo da avere una buona guida di lavoro durante le operazioni di misurazione.

La prima fase operativa consiste nell'indicare gli allineamenti esterni o lati delle poligonali, sui quali appoggiare le trilaterazioni per il rilevamento primario, che consentono di impostare con maggior precisione le successive misurazioni di dettaglio. Se si prende in esame la fig. 4, relativa al settore urbano da studiare, si può osservare che il posizionamento degli allineamenti (o poligonale) che racchiudono il settore, deve tener conto non solo dell'isolato da rilevare, ma anche del suo collegamento con quelli adiacenti. Nel caso in oggetto, si sono posizionati quattro vertici o stazioni, contraddistinti con i numeri 36, 37, 39, 40, in corrispondenza degli incroci con altre vie, in modo da poterli utilizzare per i successivi allineamenti. Dopo aver stabilito la rete esterna di inquadramento del settore, si progettano le trilaterazioni principali che definiscono il perimetro; nell'individuare i lati dei trian-

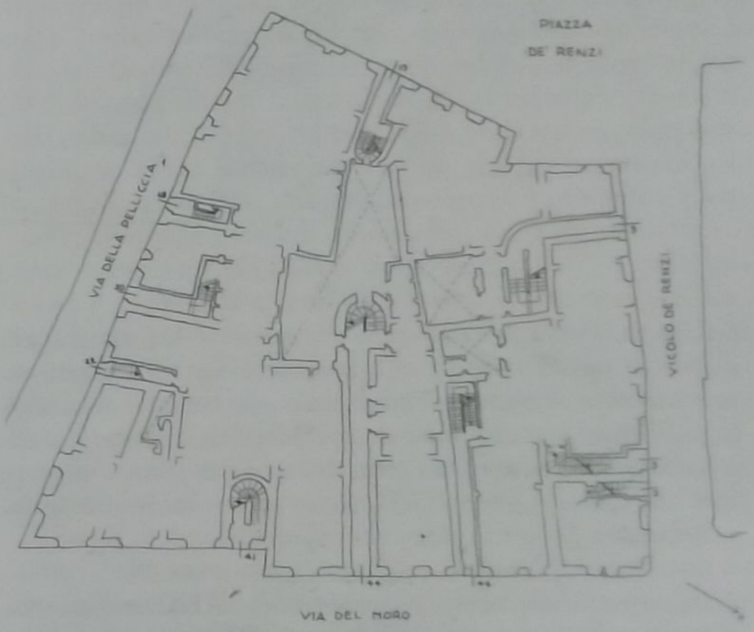


Fig. 3. Disegno preparatorio (eidotipo) in scala 1:200 per il rilevamento di un isolato urbano. Roma, rione Trastevere, edifici compresi fra via del Moro, via della Pelliccia, piazza de' Renzi e vicolo de' Renzi.

Fig. 4. Roma, rione Trastevere. Tracciamento della poligonale di base per il rilevamento planimetrico di un settore urbano.

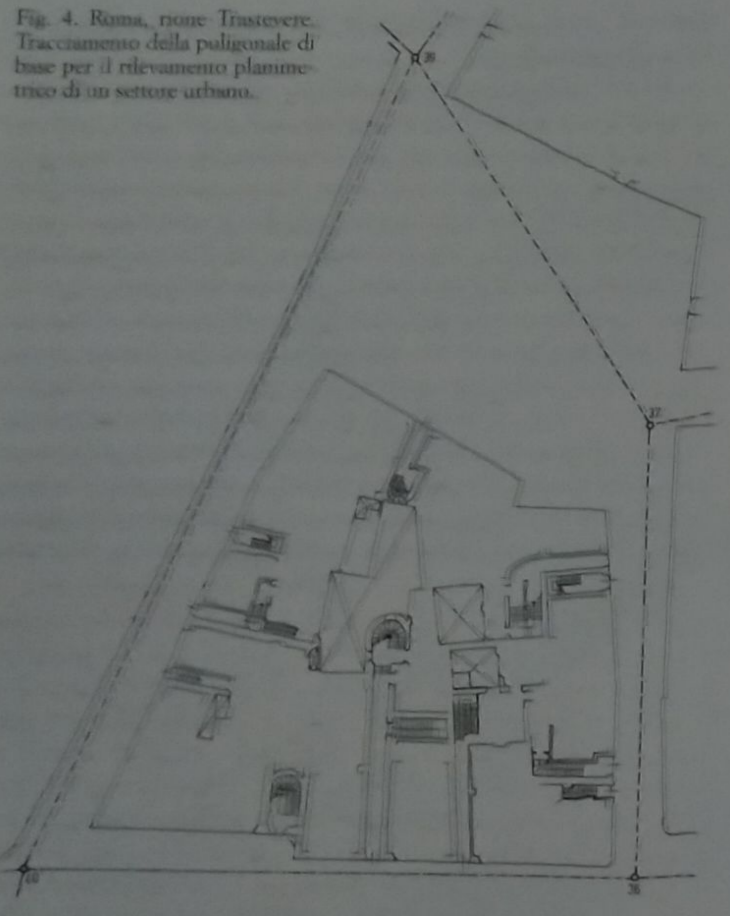
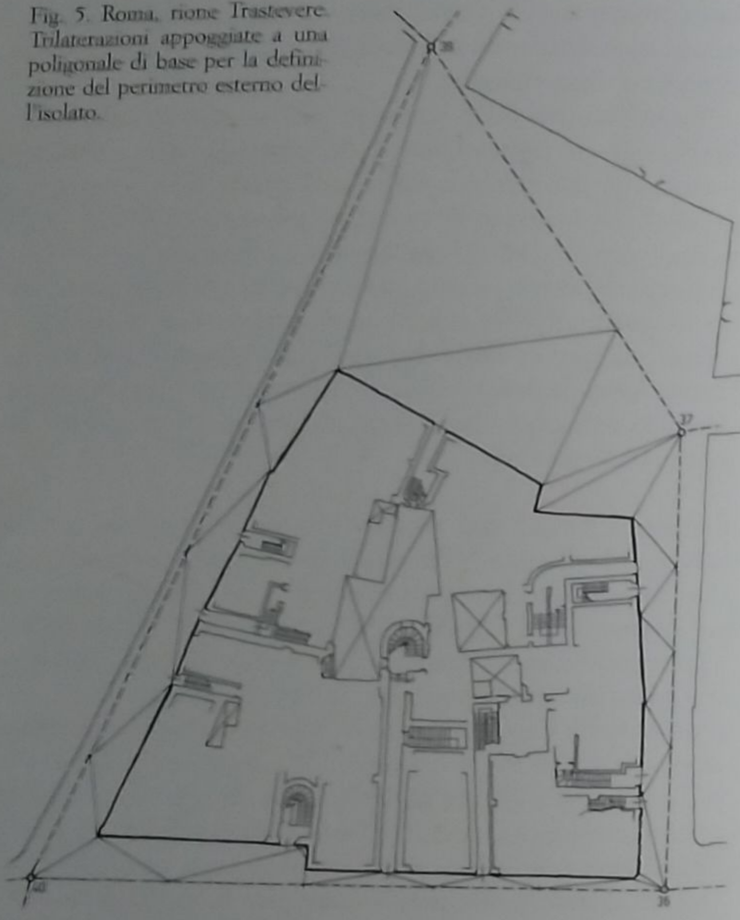


Fig. 5. Roma, rione Trastevere. Trilaterazioni appoggiate a una poligonale di base per la definizione del perimetro esterno dell'isolato.



goli però, è bene fare in modo che questi ultimi siano il più possibile di forma equilatera o isoscele. Nella fig. 5 si può osservare come le trilaterazioni di base si appoggino ai lati della poligonale: i punti presi a vertice dei triangoli sono scelti in relazione alla configurazione dei triangoli stessi e ai punti specifici che si vogliono individuare sul perimetro del settore urbano.

Rilevamento delle misure planimetriche. Il rilevamento planimetrico di un settore urbano non si differenzia metodologicamente da quello di un singolo edificio e si avvale, quindi, dei sistemi già illustrati, come la trilaterazione, il procedimento per coordinate ortogonali ecc. Le misurazioni dei lati di base e degli angoli della poligonale possono essere così eseguite: le prime, con nastri metallici di precisione o con distanziometri, le seconde con l'inserzione di un triangolo ausiliario in corrispondenza del vertice di due successivi allineamenti (fig. 6) o con uno squadro agrimensorio. Qualora sia richiesta una notevole precisione, per la determinazione della poligonale di base occorre far riferimento alla strumentazione ottica (tacheometro, stazione totale ecc.). Contemporaneamente a queste operazioni, è opportuno effettuare il rilevamento delle quote altimetriche dei vertici della poligonale, mediante le quali è possibile ricavare l'andamento altimetrico della zona e tracciare anche i profili dei piani stradali. I vertici della poligonale vanno fi-

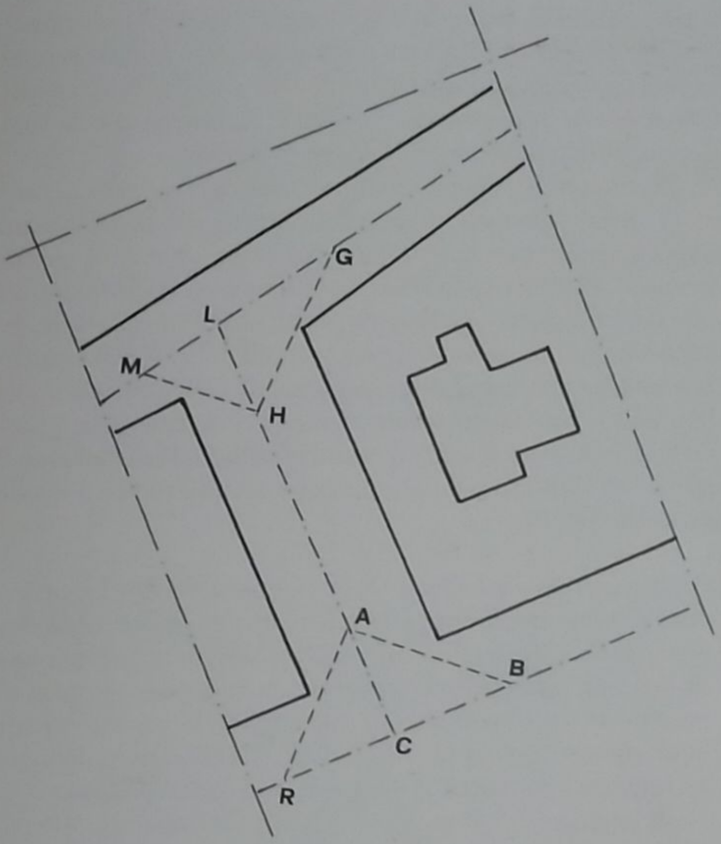


Fig. 6. Esemplificazione di triangoli ausiliari, costruiti in corrispondenza di un vertice, dato da due successivi allineamenti della poligonale fondamentale. I triangoli devono avere la dimensione più grande possibile e cateti non troppo dissimili tra loro.

sicamente individuati sul terreno prima di eseguire altre operazioni: ciò può essere ottenuto facilmente, fissando nella pavimentazione stradale gli opportuni chiodi o segnali metallici, esistenti in commercio, in corrispondenza di ciascun vertice o stazione.

Si procede quindi, partendo da uno dei lati della poligonale, al rilevamento dei punti che definiscono il perimetro del settore urbano (fig. 5), mediante trilaterazioni, per poi passare alla misurazione delle varie aperture del piano terra, con il procedimento delle quote per misurazioni per progressive o per parziali ecc.

Eidotipo e progetto di misurazione dei prospetti stradali. Il rilevamento delle cortine stradali presuppone la preparazione di un disegno preliminare, che riproduca fedelmente l'andamento dei prospetti lungo il fronte del settore urbano da rilevare. Per quanto riguarda la redazione dell'eidotipo, si possono utilizzare, oltre alla planimetria già predisposta con l'aiuto delle restituzioni grafiche da aerofotogrammetria, dalle quali desumere le quote al piede e in gronda dei vari edifici, anche i rilevamenti planimetrici degli isolati, dove sono raffigurate tutte le aperture del piano terra. Successivamente, su questo grafico iniziale va riportato lo schema delle misure da prelevare, riferite alla verticale di ciascun edificio (fig. 7) o ad una retta base. Per la definizione delle quote altimetriche, si procede come per il rilevamento verticale di un singolo edificio e tale operazione va ripetuta per tutti gli immobili, tenuto conto delle differenze di altezza che di solito contraddistinguono ciascuno di essi. Un'altra questione che si presenta al rilevatore, in questa fase, è quella della scelta del piano di proiezione frontale cui fare riferimento, come si è già visto in precedenza. In questo caso, il problema è macroscopico, dal momento che spesso le facciate degli edifici non hanno un medesimo allineamento. Ne consegue che la scelta di un unico piano di quadro su cui proiettare le varie facciate, può creare non pochi problemi, se il loro andamento è molto obliquo rispetto al piano ideale scelto (fig. 8). In linea generale è preferibile mantenere un unico piano di riferimento, se l'allineamento prevede variazioni dell'ordine di pochi gradi (1°-10°); altrimenti è preferibile usarne più di uno, al fine di rappresentare la cortina stradale, per così dire, «sviluppata». Non è mai auspicabile disaggregare il prospetto stradale in più elaborati, a seconda dei vari piani di riferimento prescelti; infatti, l'utilità di tali grafici, nel rilevamento urbano, è da ricercare nella visione d'insieme dell'intero fronte stradale che essi possono offrire[3].

La fig. 9 documenta la rappresentazione di un prospetto urbano, effettuata con un unico piano di riferimento, non tenendo conto delle lievi variazioni delle facciate dei diversi edifici. Il compito di rilevare correttamente l'eventuale dislivello della strada e la sua influenza sulla composizione delle singole facciate è assicurato dal rilevamento altimetrico dei vertici della poligonale o rete d'inquadramento.

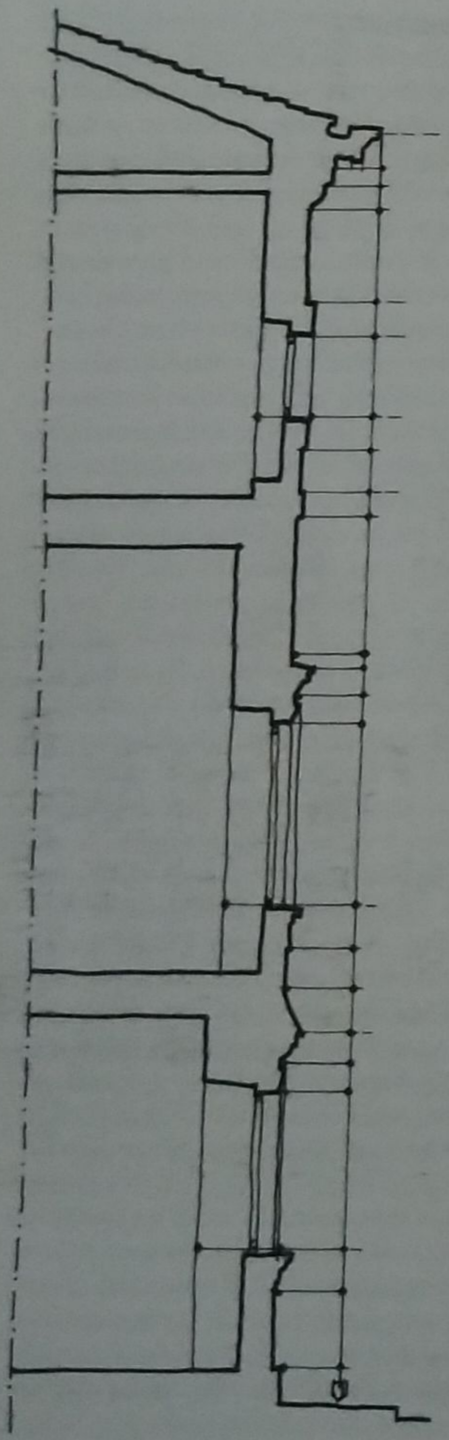


Fig. 7. Schema delle misure di facciata di un fabbricato, riferite a una verticale.

Il rilevamento delle singole unità immobiliari. Il rilevamento di un singolo edificio è già stato ampiamente illustrato nei capitoli precedenti. La precauzione da osservare, in questi casi, è quella di relazionare i cortili e gli interni con la rete d'inquadramento (base di appoggio generale).

Poiché un rilevamento di questo tipo si basa sulla definizione della poligonale principale, occorre che tutte le altre operazioni di misurazione siano collegate ad essa. È ovvio, pertanto, che nel rilevamento di un singolo edificio si utilizzi uno dei lati della poligonale stessa che racchiude il settore. In particolare, si suggerisce di penetrare all'interno dell'edificio con una base di appoggio secondaria, da collegarsi a uno dei lati della poligonale d'inquadramento. Solo con questa procedura si può essere certi di aver collegato adeguatamente il rilevamento interno di un organismo architettonico a quello generale (fig. 10).

Rappresentazione planimetrica del settore urbano. Le procedure di rilevamento sopra descritte possono essere utilizzate per realizzare planimetrie a diversa scala di riduzione, a seconda delle varie esigenze. Le rappresentazioni più comuni si effettuano in scale variabili tra 1:500 e 1:200. In casi particolari, però, si può utilizzare anche la scala 1:1000, quando si vogliano redigere planimetrie complessive del centro urbano.

Il rapporto 1:500 serve, invece, per realizzare carte tematiche inerenti il centro abitato, in cui sia possibile evidenziare non solo l'andamento planimetrico, ma anche la posizione degli ingressi, il numero dei piani degli edifici, la dislocazione dei corpi scala, dei cortili ecc.

Infine, il rapporto 1:200 viene spesso utilizzato per redigere la pianta dell'intero settore in cui evidenziare la trama muraria del piano terra. Ovviamente le diverse scale di riduzione comportano problemi e convenzioni grafiche diverse; tuttavia, le modalità secondo le quali si costruisce il modello grafico delle misure prelevate sono simili per le diverse scale di rappresentazione: prefissata una di esse, si inizia il disegno tracciando, per prima cosa, la poligonale generale (rete di inquadramento); successivamente si costruiscono graficamente tutte le trilaterazioni che individuano i vari punti del perimetro del settore urbano; una volta raffigurato con precisione il perimetro esterno, si procede a posizionare gli eventuali cortili interni e, nel caso che si utilizzi la scala 1:200, la tra-

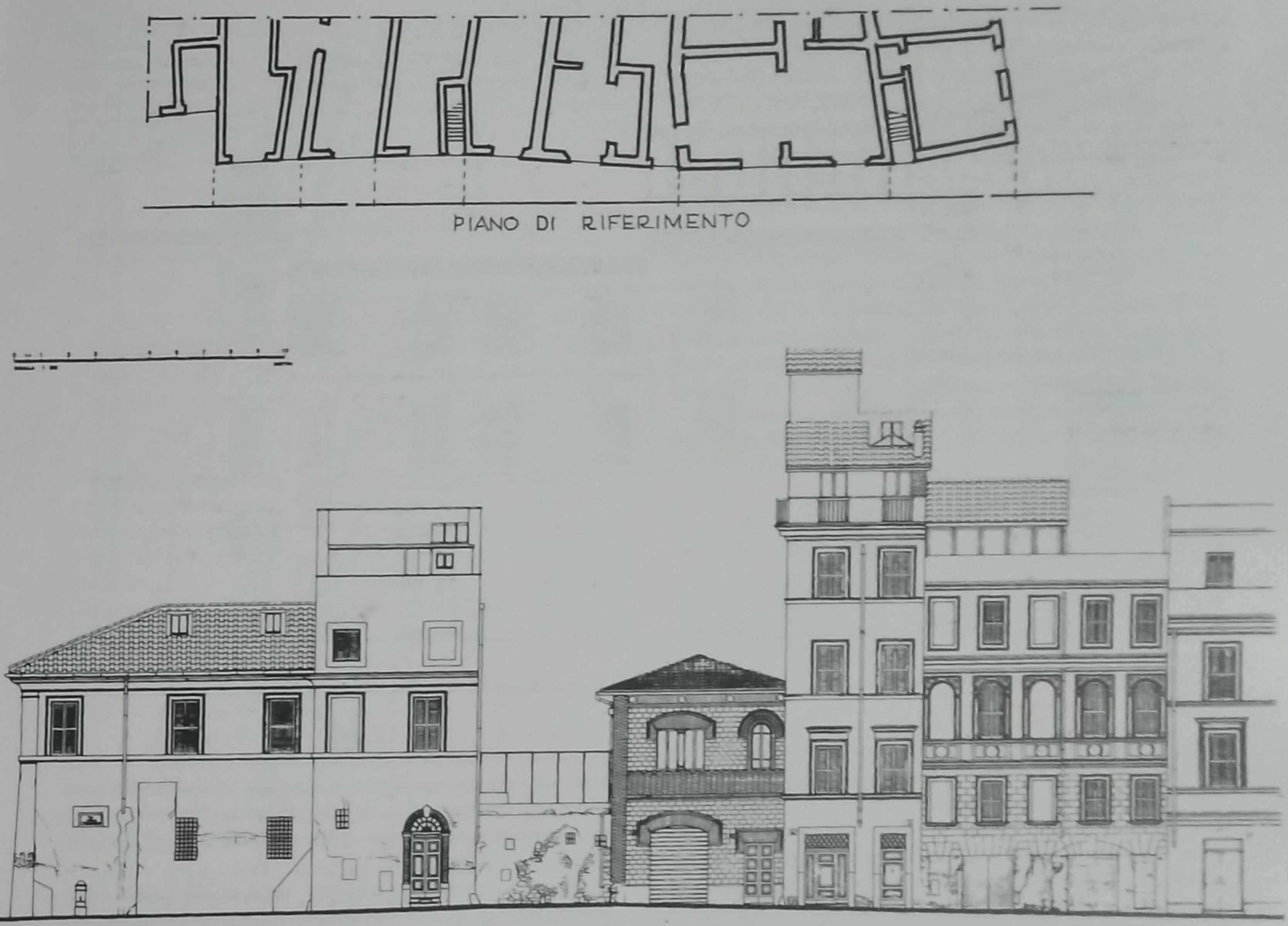


Fig. 8. Roma, via della Pelliccia. *In alto*, piano unico di riferimento del prospetto edilizio per facciate la cui inclinazione, rispetto al piano stesso, è compresa entro i 10°; *in basso*, particolare del fronte stradale, disegnato sullo stesso piano di riferimento.

Fig. 9. Roma, rione Trastevere. Prospetto stradale in scala 1:100 (originariamente) di vicolo de' Renzi, delineato adottando un unico piano di quadro o riferimento.

ma muraria. Per questi ultimi dati, si deve far ricorso al rilevamento dei singoli edifici, curando la coincidenza del perimetro esterno e delle relative aperture. Generalmente si adopera il rilevamento del perimetro del settore urbano per considerarlo come inizio del rilevamento del singolo edificio, in modo da non incontrare le difficoltà tipiche che si hanno nel realizzare un mosaico di diversi rilevamenti.

Il rilevamento strumentale dei centri urbani. Le metodologie per il rilevamento strumentale a scala urbana non differiscono da quelle già illustrate (cfr. *supra*, cap. V). È indispensabile, tuttavia, analizzare il problema del rilevamento delle poligonali, a causa delle diversità intercorrenti tra il rilevamento urbano e quello architettonico.

Dovendosi rilevare un centro urbano, occorre che tutte le strade siano connesse con una rete di inquadramento, costituita da una serie di poligonali chiuse (poligonali nodali o concatenate), interconnesse attraverso una serie di nodi (fig. 11)[4].

Per conseguire tale risultato, ogni isolato viene circoscritto dai lati di una poligonale chiusa; ne consegue che due isolati contigui avranno in comune un lato di essa. Si viene così a creare un sistema di poligonali chiuse, intimamente connesse l'una con l'altra. In particolare, nella fig. 11 ove è rappresentata la maglia delle poligonali utilizzate per il rilevamento del rione Trastevere a Roma, è da notare come ogni vertice (nodo) costituisca un punto comune a più poligonali.

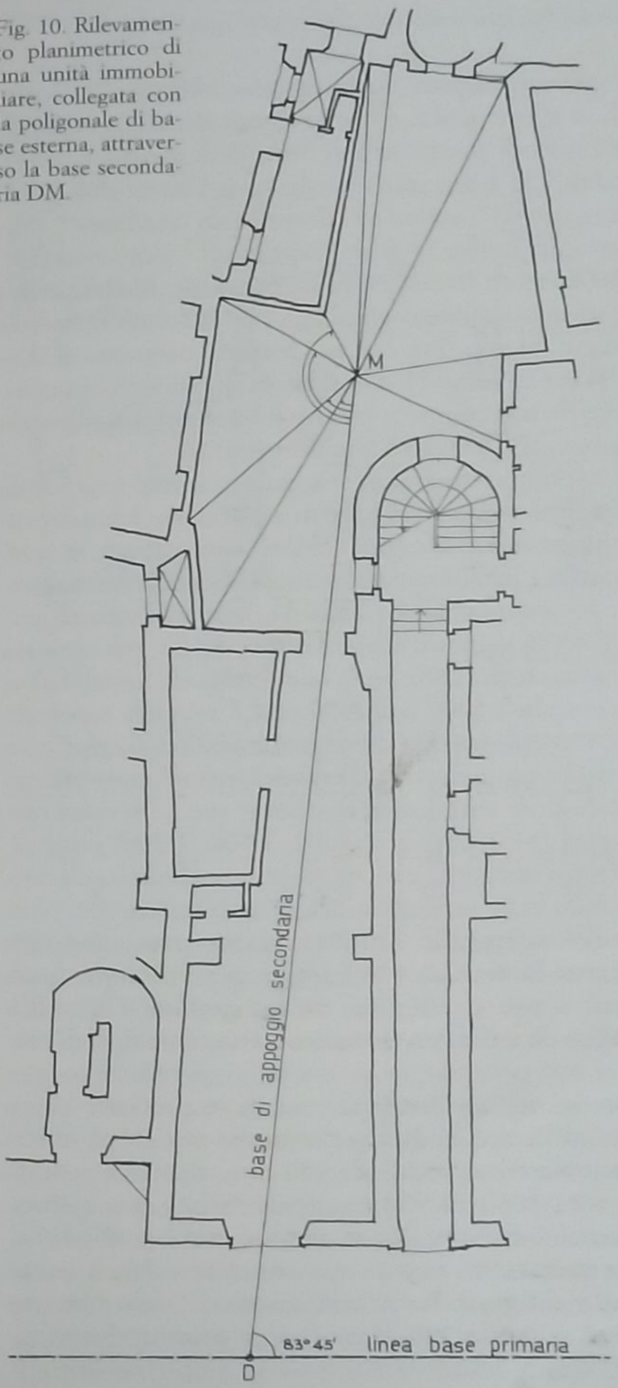


Fig. 10. Rilevamento planimetrico di una unità immobiliare, collegata con la poligonale di base esterna, attraverso la base secondaria DM.

Alla rete generale d'inquadramento vanno collegate poligonali secondarie del tipo aperto, onde penetrare all'interno degli androni, dei cortili o di spazi semichiusi, quali strade cieche o piazze interne. Con il metodo strumentale, come si è già detto, ci si può limitare a tracciare, a rilevare e a calcolare le sole poligonali, servendosi, per il successivo rilevamento del perimetro dei settori urbani, del metodo diretto, con trilaterazioni che si appoggiano ai lati delle poligonali. Nei casi in cui sia richiesta una maggiore precisione, va effettuato il rilevamento del perimetro esterno del settore urbano con il metodo strumentale. In tal caso (cfr. fig. 12), nel momento in cui si effettuano, dai vertici della poligonale (2-3), le misurazioni degli angoli azimutali, si provvede anche a rilevare gli angoli azimutali dei punti del perimetro A, B, C, D, E rispetto ai vertici 2 e 3. Ne consegue che i punti A, B, C, D, E del perimetro dell'isolato in esame sono rilevati per intersezione in avanti, rispetto ad una base che è costituita dal la-

Fig. 11. Poligonale di base per il rilevamento urbano del rione Trastevere in Roma. Tracciamento e calcolo della poligonale a cura del corso di Topografia del professore L. Monardo (Facoltà di Architettura dell'Università di Roma «La Sapienza», 1979-1980).

to stesso della poligonale. Qualora il perimetro del settore urbano fosse molto lungo, per evitare che i triangoli formati dall'intersezione in avanti risultino troppo allungati, si possono individuare dei punti intermedi, sul lato della poligonale, da usare come vertici per l'intersezione in avanti. Questa metodologia è relativamente economica, dal momento che non occorre spostare il tacheometro dai vertici della poligonale, per effettuare il rilevamento del perimetro del settore urbano prescelto.

Collegando le poligonali di inquadramento con uno o più capisaldi della rete topografica nazionale, è possibile calcolare le coordinate dei vertici delle poligonali rispetto ad essa. Mediante questa operazione, il rilevamento di uno o più settori urbani può essere inserito nel sistema cartografico nazionale.

Per quanto concerne il rilevamento di cortili, piazze, spazi interni o semichiusi, lo si può effettuare utilizzando uno dei vertici di una poligonale aperta come stazione di un rilevamento per irradiamento[5]. Conviene allora fare in modo che il vertice della poligonale aperta, utilizzato a tal fine, sia disposto in posizione baricentrica rispetto allo spazio da rilevare.

Nel caso di spazi interni (cortili, chiostrine ecc.), è opportuno che questi siano ben collegati alle poligonali esterne, generalmente attraverso una poligonale secondaria (cfr. fig. 13), l'ultimo vertice della quale va dislocato in posizione baricentrica rispetto allo spazio da rilevare. Si potrà utilizzare, quindi, il vertice O come centro della stazione per un irradiamento, mentre l'ultimo lato (3O) della poligonale fungerà da asse polare, rispetto al quale rilevare gli angoli di direzione.

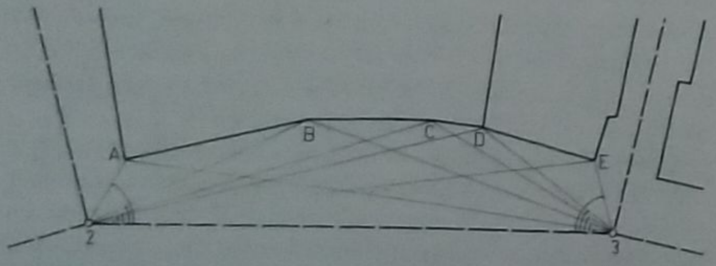


Fig. 12. Rilevamento del perimetro esterno di un isolato, con il metodo della intersezione in avanti, utilizzando come base i vertici della poligonale esterna.

Il rilevamento fotogrammetrico dei centri urbani

È stato già evidenziato, nel paragrafo dedicato alla scelta dei metodi di rilevamento, come la fotogrammetria costituisca uno dei metodi fondamentali nella documentazione dei centri urbani. Ciò è già stato messo in evidenza dall'ICOMOS (International Council on Monuments and Sites)[6], nella conferenza del luglio 1968 in Francia, ed è stato successivamente confermato attraverso la costituzione, in sede internazionale, di uno specifico comitato per la fotogrammetria architettonica[7]. Si può dire che tale metodo concorra al rilevamento dei centri urbani e alla relativa documentazione attraverso due diversi campi applicativi: l'aerofotogrammetria e la fotogrammetria terrestre (architettonica).

Dell'aerofotogrammetria si è acquisita ormai una lunga esperienza nel rilevamento del territorio, mentre è più recente la sua applicazione al rilevamento dei centri urbani. In questi ultimi anni si è progressivamente modificata la scala adottata nel rilevamento urbano, passando dalle tradizionali scale 1:5000, 1:2000, a grandi scale, 1:1000, 1:500, per arrivare in alcuni casi anche a 1:200. Se la cartografia dei centri urbani, rilevata a scala 1:5000 o 1:2000 con il metodo aerofotogrammetrico, costituiva una rappresentazione dalla simbologia prevalentemente astratta, generalmente finalizzata alla gestione politica delle città (piani regolatori ecc.), i recenti rilevamenti a grandissima scala (1:1000, 1:500, 1:200) costituiscono una raffigurazione, che impiega una simbologia normalmente usata nelle rappresentazioni architettoniche, piuttosto che nella cartografia. Tuttavia, questo passaggio dalle grandi alle grandissime scale determina vari problemi, quali quelli inerenti il volo per la presa dei fotogrammi e la codificazione grafica da utilizzare in questo particolare tipo di cartografia. Pur non potendo, in questa sede, entrare nello specifico problema dell'aerofotogrammetria, va precisato che è consigliabile utilizzare macchine da ripresa munite di obiettivo grandangolare con focale da 152 mm, se si tratta di riprese per scale 1:1000 o 1:500, mantenendo una quota di volo rispettivamente di 540 e 460 m, mentre non è possibile fare ciò per la scala 1:200, poiché occorrerebbe volare a quote molto basse, incompatibili con la sicurezza del volo. Quanto ai rilevamenti a scala 1:200, si preferisce adottare focali da 210 o da 305 mm. L'adozione di una focale grandangolare co-

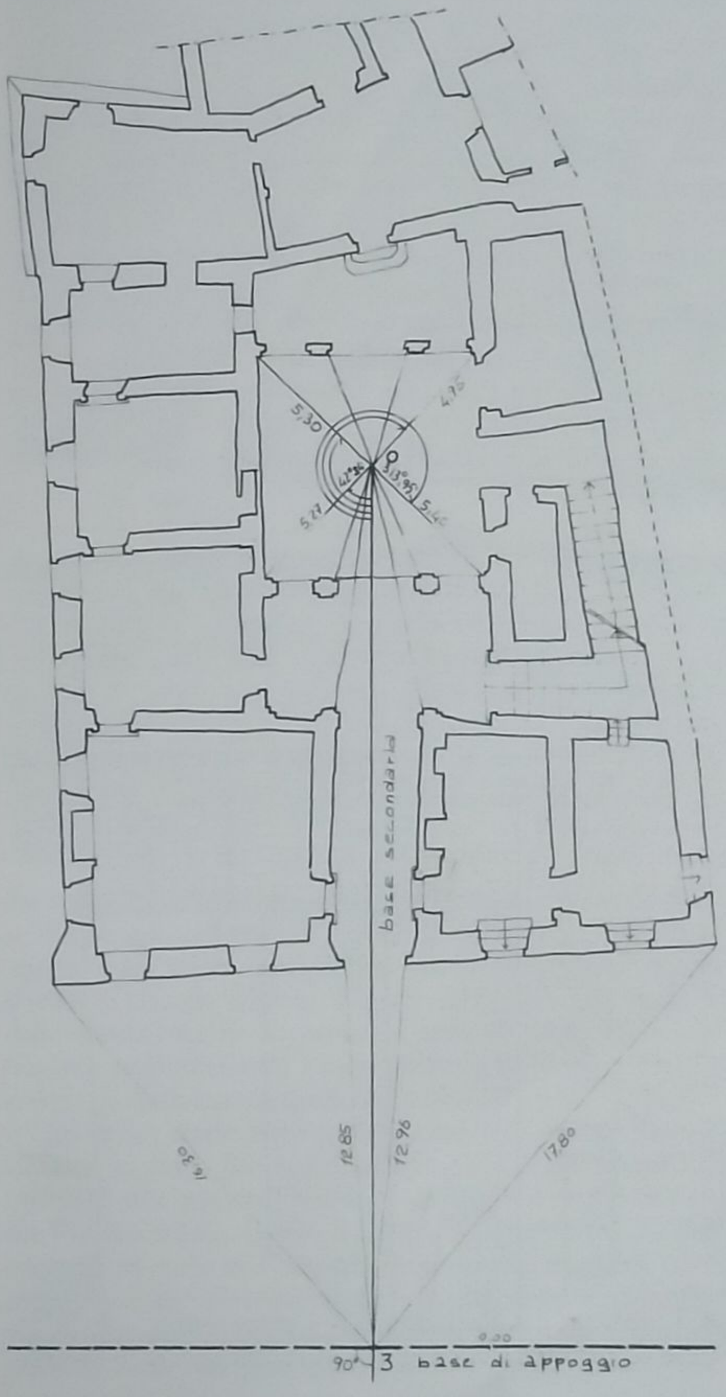
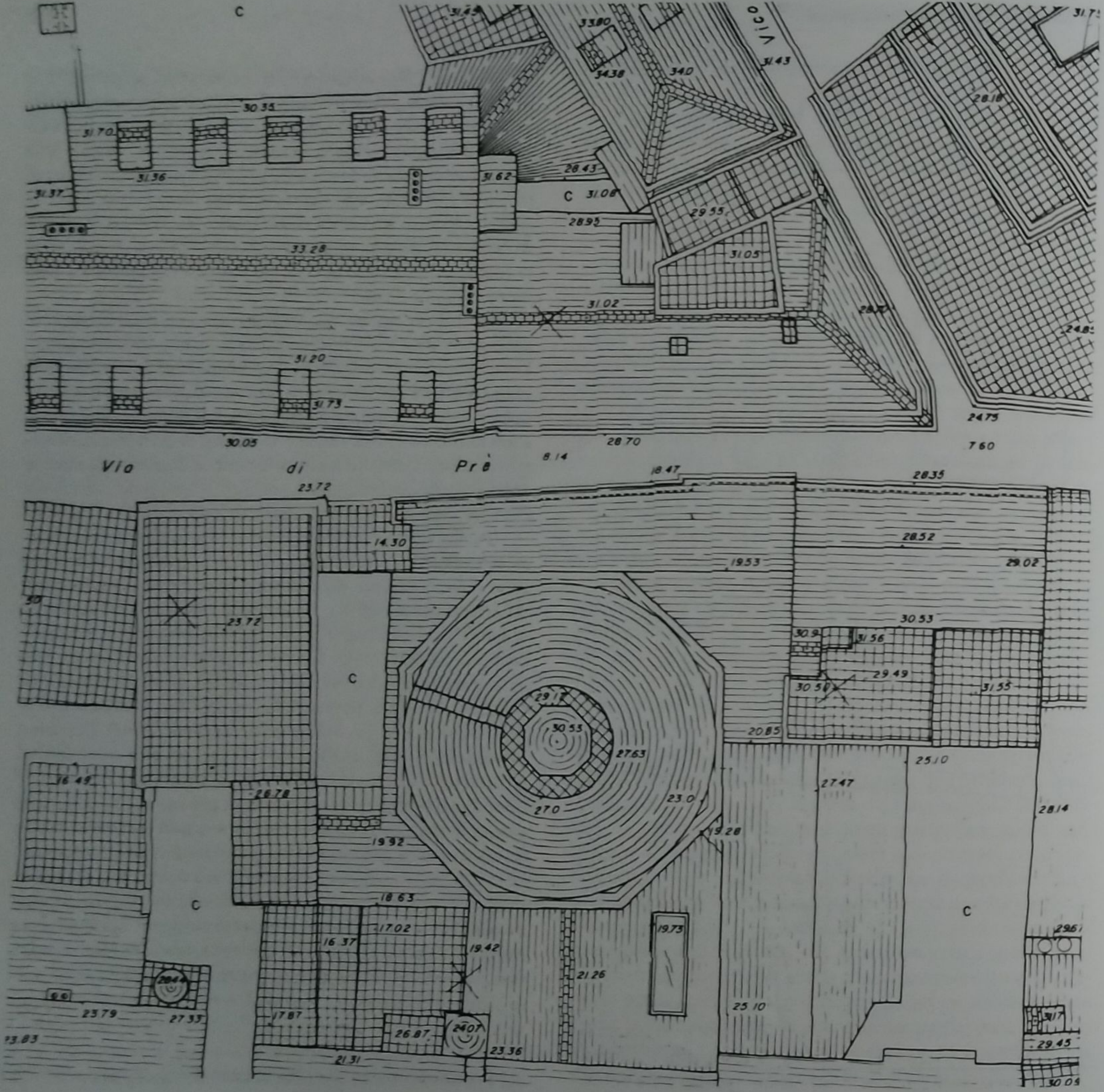


Fig. 13. Rilevamento di un cortile con il metodo dell'irradiamento.

me quella da 150 mm favorisce la restituzione, in quanto consente di vedere anche le facciate, con conseguente notevole vantaggio, se si ha l'intenzione di ricavare dalla restituzione anche altri elaborati, quali volumetrie o sezioni. Ai fini della precisione di questi rilevamenti, si tenga presente che lo scarto, nella posizione planimetrica di un punto isolato, tra le coordinate ricavate dalla carta e quelle ottenute con la misura diretta sul terreno, non deve superare l'incertezza di ± 0,80 m, per la scala 1:2000, ± 0,40 m, per la scala 1:1000, ± 0,20 m, per la scala 1:500.

Per quanto attiene alla rappresentazione grafica, occorre precisare che le scale 1:500 o 1:200 consentono rappresentazioni di moltissimi elementi di dettaglio (tetti, abbaini, terrazzi), nonché di elementi di arredo urbano (lampioni, edicole, aiuole, fontane), che necessitano di un'apposita simbologia grafica, adatta a rendere la lettura di queste carte facile e immediata. Sarebbe molto utile che la tradizionale simbologia del rilevamento architettonico si fondesse con quella del rilevamento fotogrammetrico (fig. 14)[8].

Un altro problema di rappresentazione da risolvere, senza complicare la lettura di questo tipo di cartografia, è costituito dalla quotatura altimetrica. Come è noto, la restituzione aerofotogrammetrica consente di rilevare e memorizzare le quote di tutti i punti restituiti, mentre ovviamente, nella rappresentazione, vanno indicati solo alcuni punti caratteristici, quali quelli relativi alle strade, alle linee di gronda e di colmo dei tetti, alle pavimentazioni delle terrazze ecc.: eccessive informazioni di carattere altimetrico, infatti, finiscono per rendere la rappresentazione sovraccarica di dati e quindi di non facile lettura. La soluzione a questo importante problema va ricercata nella redazione di più carte tematiche: una carta tematica dei tetti, ad esempio, che può contenere anche le informazioni altimetriche sui medesimi, e un'altra a livello del suolo (piano viabile), che dia conto del profilo degli edifici e dell'aggetto dei tetti. L'adozione di carte tematiche agevola anche la soluzione di un altro problema, quasi sempre presente quando si tratta di rilevare i centri urbani: quello, cioè, della difficoltà di rappresentare la base degli edifici. Co-


C
31.45
33.80
34.38
34.0
Vico
31.43
31.75
30.35
31.70
31.36
31.37
31.62
28.43
C 31.06
28.95
29.55
28.18
33.28
31.05
31.02
24.85
31.20
31.73
24.75
30.05
28.70
7.60
Via di Prè
8.14
18.47
28.35
23.72
14.30
28.52
19.53
29.02
30
23.72
30.53
30.9
31.56
C
29.49
30.56
31.55
29.12
30.53
27.63
20.85
25.10
16.49
26.78
27.47
23.0
27.0
28.14
19.28
19.92
18.63
C
C
17.02
19.73
29.61
16.37
19.42
21.26
28.44
23.79
27.33
25.10
17.87
31.17
24.07
26.87
29.45
23.83
21.31
23.36
30.09

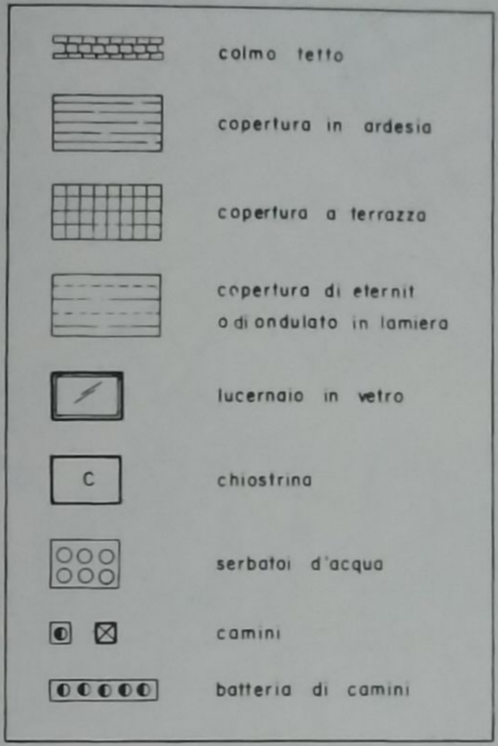


Fig. 14. Rilevamento aerofotogrammetrico, di un centro urbano, a grande scala (1:200). Carta delle coperture, con annessa simbologia, del centro storico di Genova (in figura un dettaglio), realizzato dalla Aerofoto Consult, Roma.

me è noto, infatti, molti nuclei abitati presentano strade strette, fiancheggiate da edifici muniti di tetti molto sporgenti; la ripresa aerea, allora, non sempre consente di vedere l'attacco a terra di ciascun edificio. È preferibile, pertanto, dedurre dalla restituzione la sola pianta dei tetti e successivamente, attraverso un rilevamento a terra, ricavare l'aggetto dei tetti e quindi la planimetria a livello del piano stradale.

Le attuali restituzioni fotogrammetriche, eseguite su restitutori analitici, non solo permettono la registrazione numerica di tutte e tre le coordinate dei punti restituiti, ma anche l'archiviazione su diversi livelli dei dati rilevati; ciò consente di ottenere una cartografia numerica (digitale), dalla quale trarre agevolmente carte tematiche, semplicemente richiedendo al computer che gestisce la restituzione, di redigere una carta con tutte le informazioni o solamente con alcune di esse. I dati così archiviati possono essere trasferiti in un altro elaboratore e con l'uso di particolari programmi possono essere ottenuti, per successive elaborazioni, grafici molto importanti: ad esempio, sezioni lungo gli assi stradali, che riportano i profili altimetrici degli edifici, oppure volumetrie sintetiche, in assonometria, delle zone rilevate (figg. 15, 16, 17, 18)[9]. Inoltre, sempre attraverso la registrazione numerica dei dati rilevati, è possibile pervenire al calcolo automatico dei volumi edificati (fig. 19). La cartografia numerica presenta anche un altro grande vantaggio: essa, infatti, può essere agevolmente aggiornata, così come è possibile archiviare, nella memoria dell'elaboratore, tutte le successive edizioni. Da queste brevi note si evincono le notevoli potenzialità offerte da questo metodo di rilevamento dei centri urbani, potenzialità ulteriormente sviluppate dall'integrazione con la fotogrammetria terrestre, che permette di effettuare i rilevamenti delle cortine stradali (prospetti) e di quelle interne, se particolarmente significative.

I fondamenti teorici e le metodologie della fotogrammetria terrestre possono essere applicati tanto al rilevamento architettonico quanto a quello urbano, sia pure con sfumature leggermente diverse. Vanno tuttavia indicati quegli aspetti del rilevamento fotogrammetrico urbano che differiscono da quelli già illustrati a proposito del rilevamento architettonico. La fotogrammetria terrestre riveste un ruolo importante nella documentazione dei centri urbani, soprattutto per il rilevamento delle «cortine stradali» (figg. 20a,b, 21). Con questa metodologia è possibile rilevare come entità unitarie i prospetti lungo vie o piazze. Si è già visto come i prospetti stradali costituiscano uno degli elementi caratterizzanti il rilievo urbano. Poiché sovente il rilevamento di essi, effettuato con il metodo diretto, si presenta particolarmente oneroso, risulta di grande utilità sostituirlo o integrarlo con l'impiego della fotogrammetria, soprattutto quando i prospetti siano particolarmente elaborati; si può dire, anzi, che questa venga utilizzata, nel rilevamento dei centri urbani, quasi esclusivamente per quanto riguarda i fronti stradali. Tuttavia non possono escludersi impieghi particolari, quali il rilevamento di prospetti interni a cortili o di interni di edifici di notevole interesse, anche se tali impieghi rappresentano sempre casi eccezionali.

I problemi inerenti il rilevamento dei prospetti stradali di

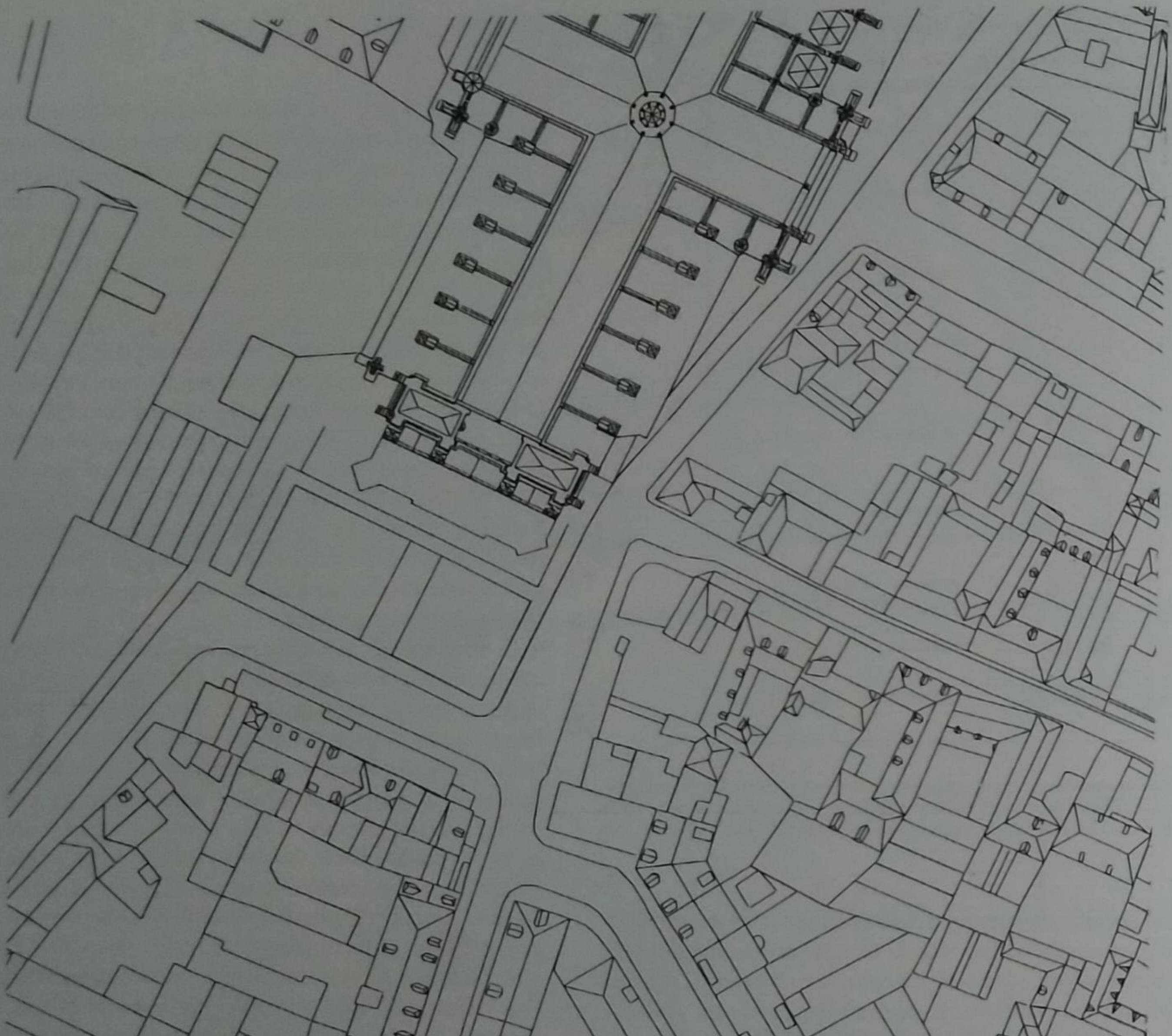


Fig. 15 (*a fronte*). Amiens (Francia). Rilevamento fotogrammetrico del quartiere della cattedrale. Particolare della planimetria in scala 1:1000. Rilevamento «Institut Géographique National de France», Y. Egels.

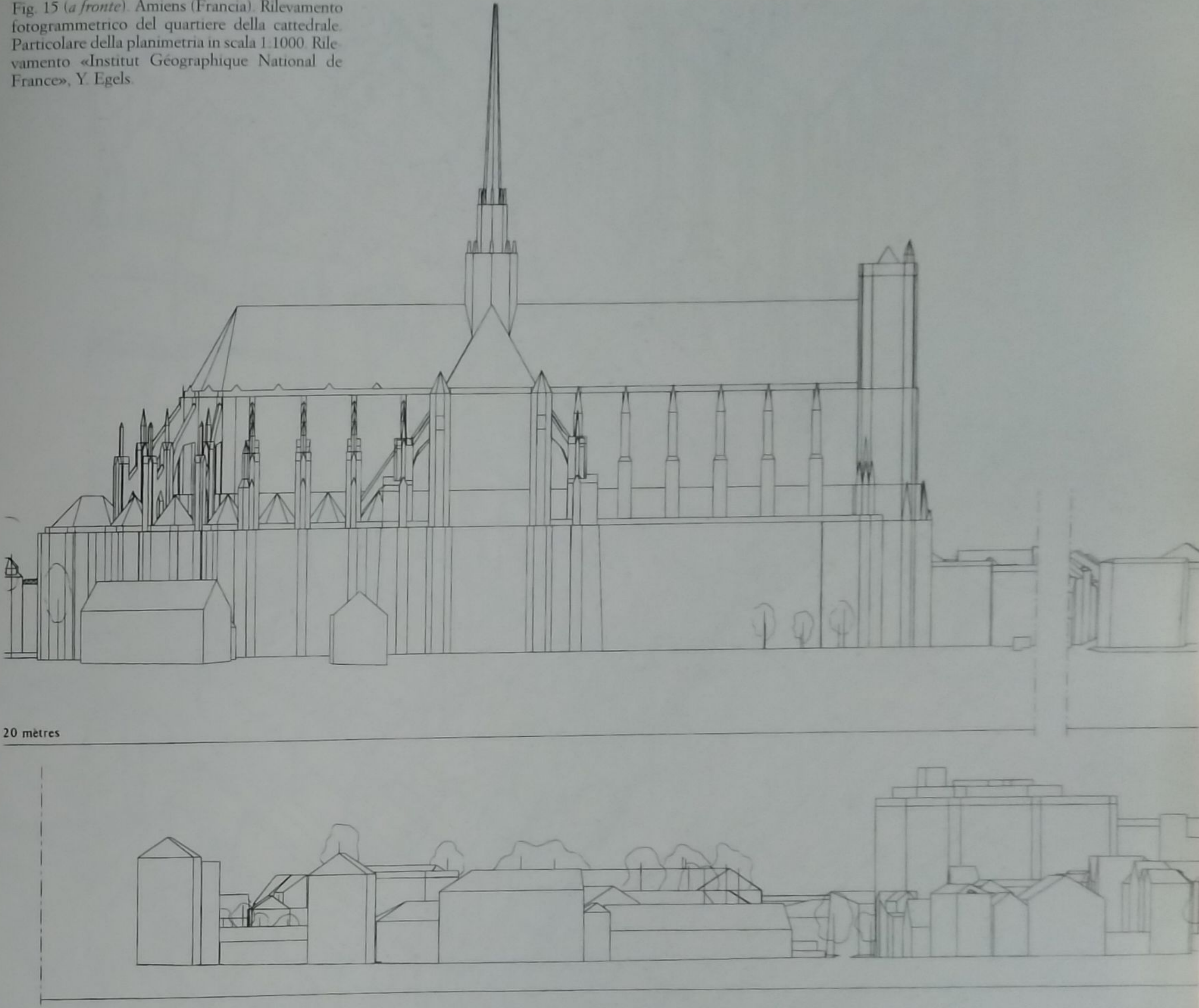


Fig. 16. Amiens (Francia). Rilevamento fotogrammetrico del quartiere della cattedrale. Due prospetti parziali. Rilevamento «Institut Géographique National de France», Y. Egels.

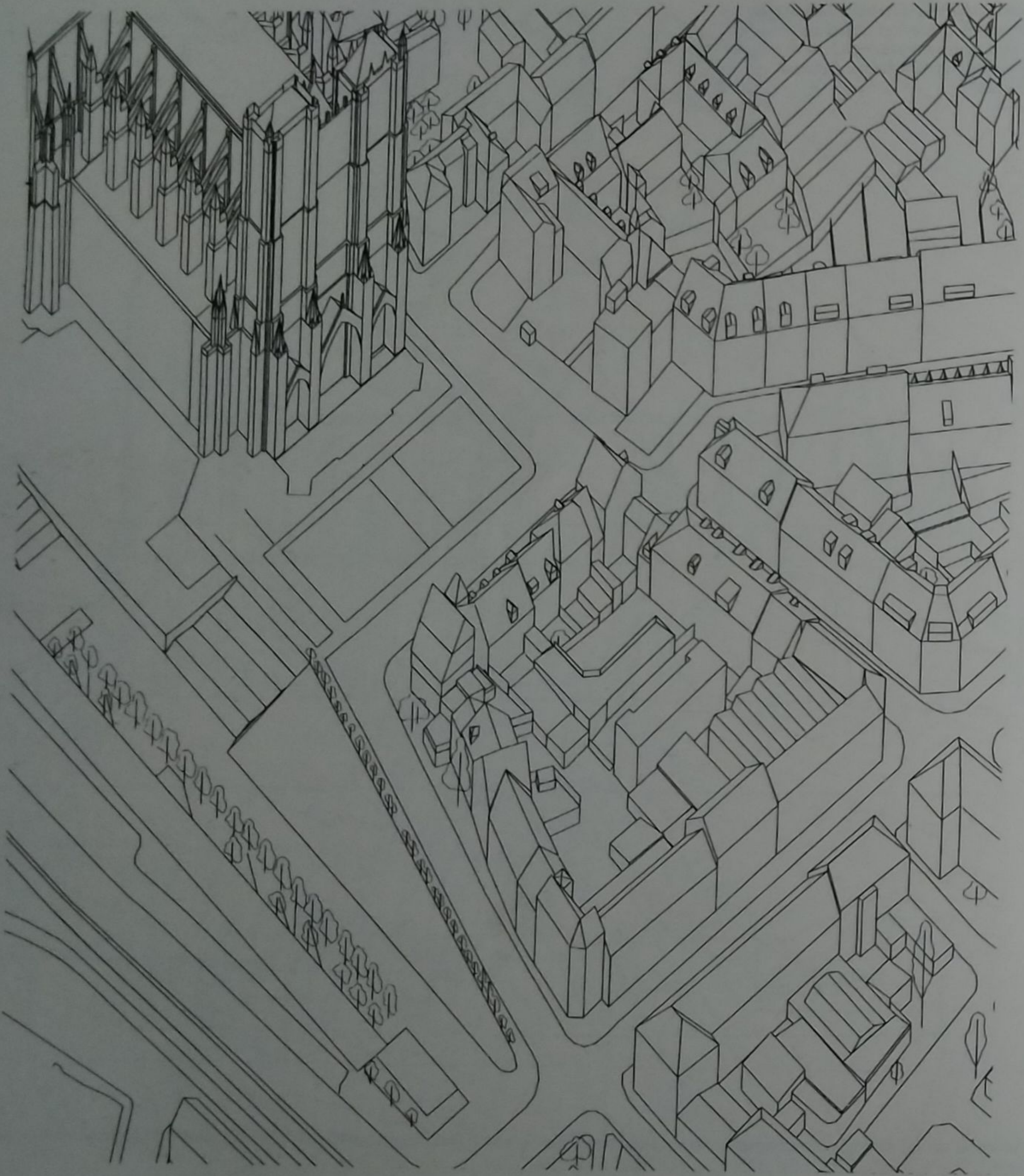
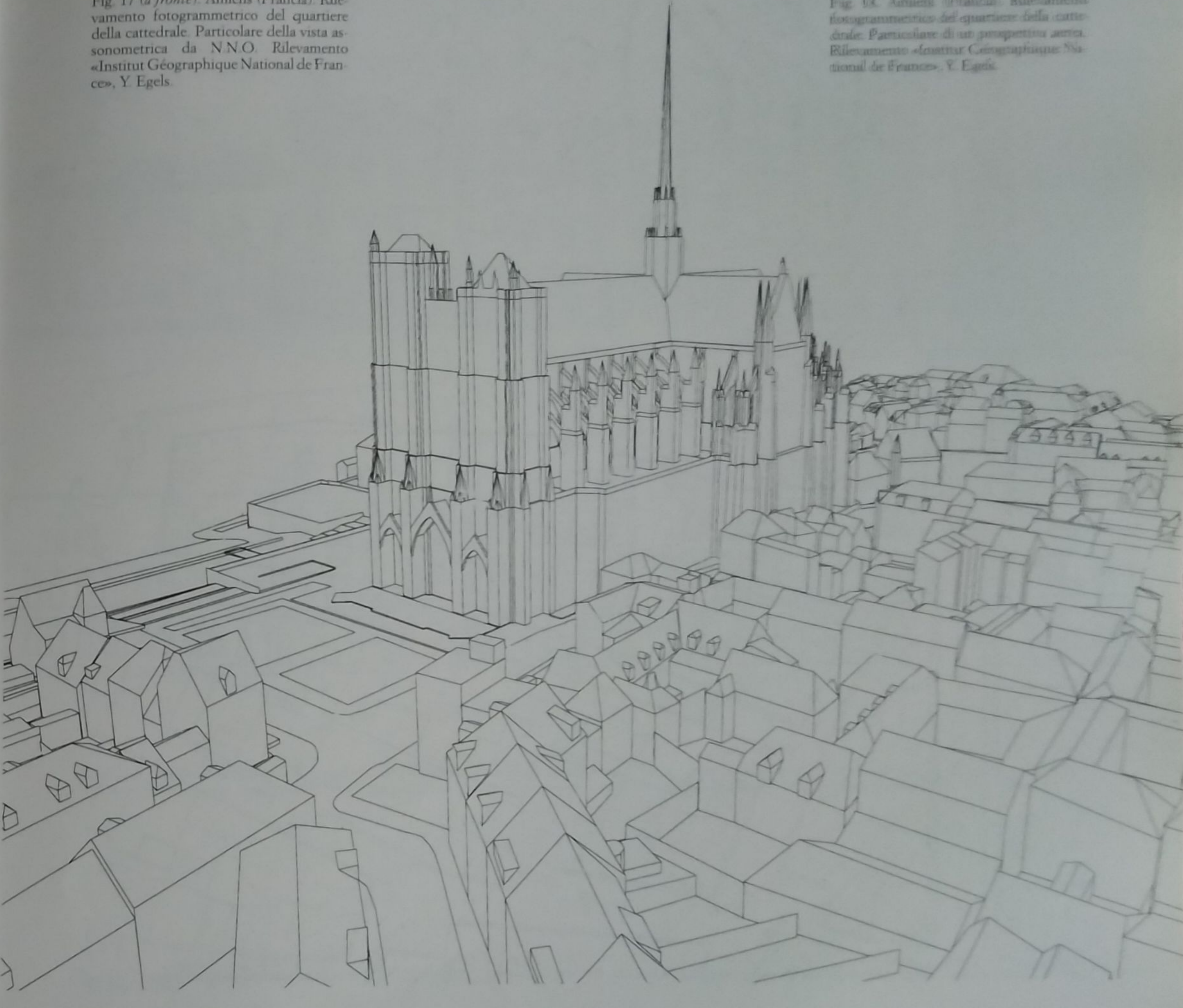
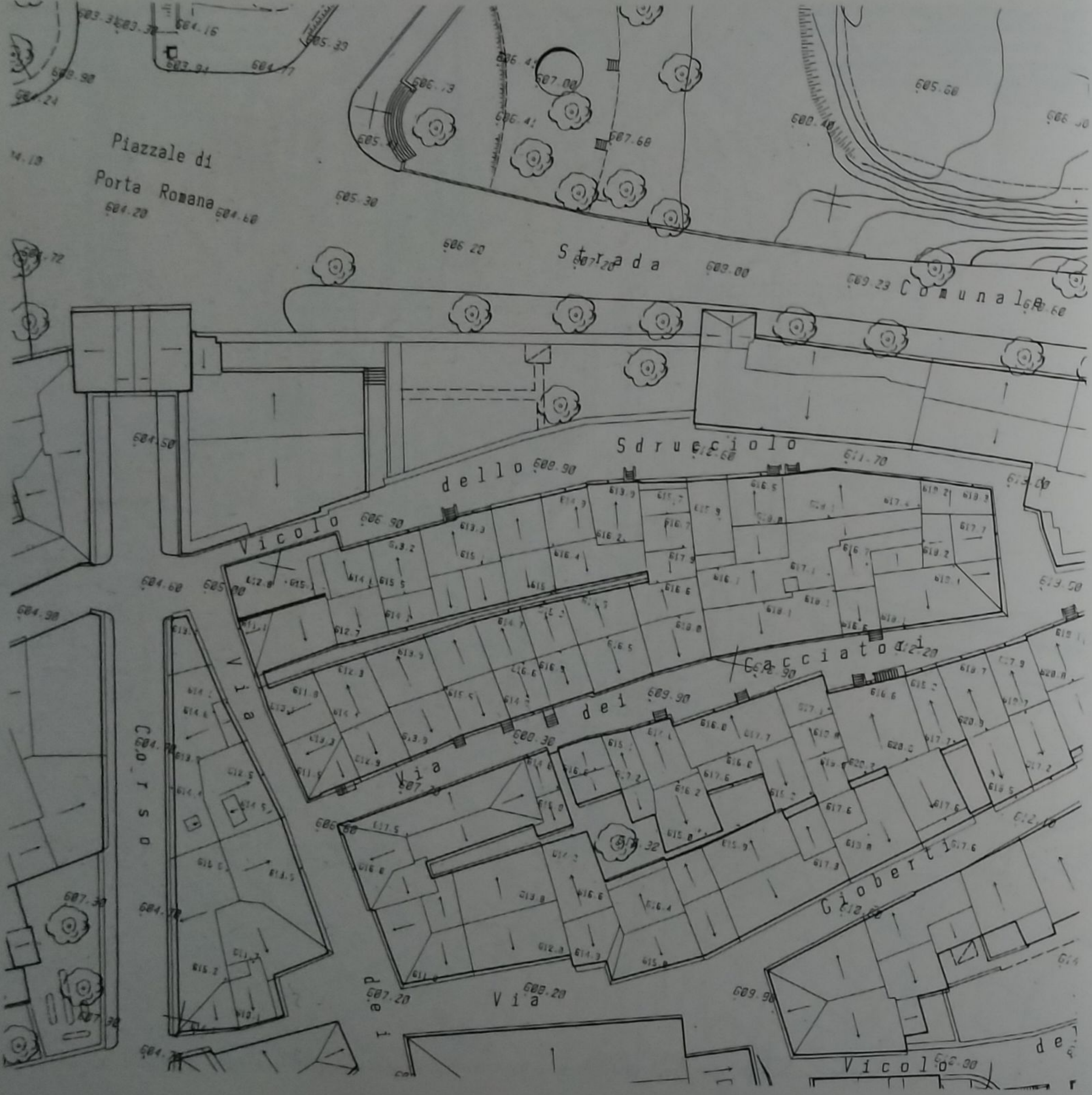


Fig. 17 (*a fronte*). Amiens (Francia). Rilevamento fotogrammetrico del quartiere della cattedrale. Particolare della vista assonometrica da N.N.O. Rilevamento «Institut Géographique National de France», Y. Egels.

Fig. 18. Amiens (Francia). Rilevamento fotogrammetrico del quartiere della cattedrale. Particolare di un prospettiva aerea. Rilevamento «Institut Géographique National de France», Y. Egels.





Piazzale di
Porta Romana
Strada
Comunale
Sdrucciolo
dello
Vicolo
Cacciatori
dei
Via
Via
Corso
Gioberti
Via
Vicolo

a

b

Fig. 20a,b. Hagen-Hohenlimburg (Germania). Piano di documentazione fotogrammetrica (aerea e terrestre), di una parte del centro storico. a) Fronte sud dell'isolato ovest ricavato da un mosaico di fotografie terrestri raddrizzate; b) grafico ricavato dal fotopiano. Rilevamento «Fachhochschule Bochum». F.J. Heimes.

Fig. 19 (*a fronte*). Disegno automatico in scala 1:500, di un centro urbano, ricavato da una banca dati cartografica. Realizzazione Aerofoto Consult, Roma.

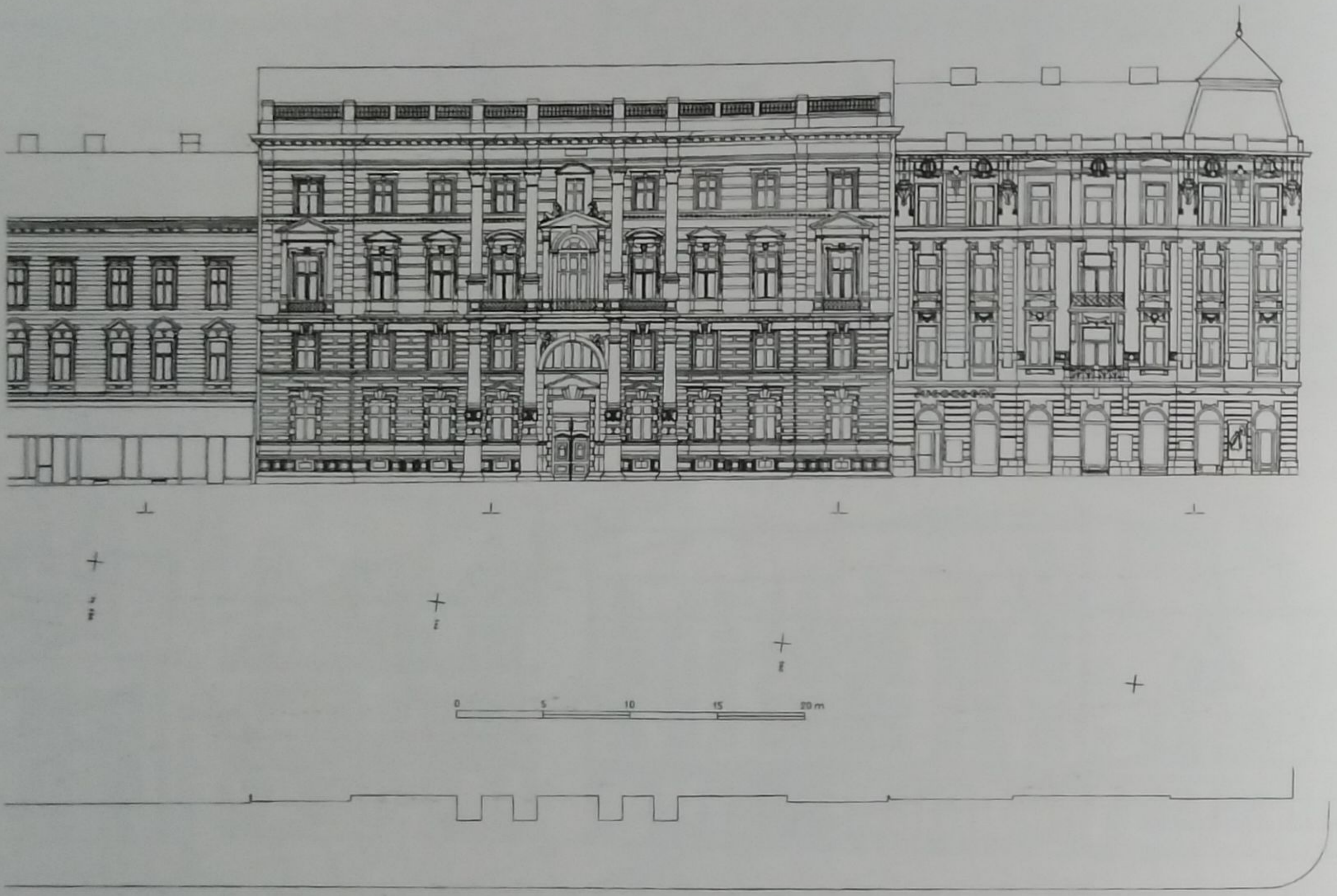


Fig. 21. Zagreb (Croazia), piazza Nikole Šubika Zrinjskog. Prospetto di un lato della piazza. Rilevamento Istituto di Fotogrammetria della Facoltà di Zagabria «F. Braum» per l'Istituto di Conservazione della Croazia.

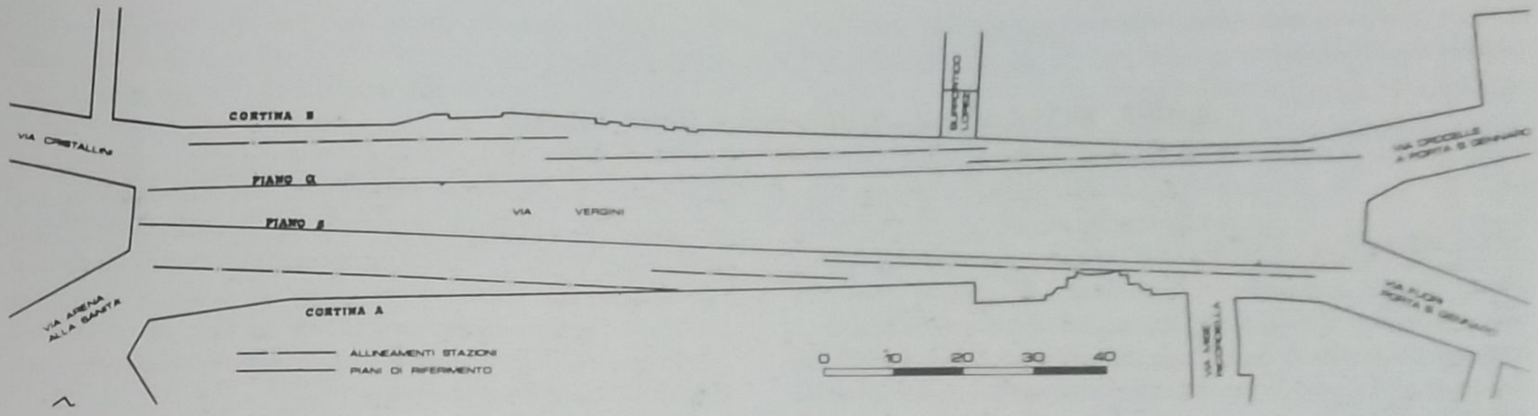


Fig. 22. Rilevamento fotogrammetrico delle cortine stradali di via dei Vergini a Napoli. Posizionamento planimetrico dei piani di riferimento e dell'allineamento delle stazioni. Rilevamento C. Cundari.

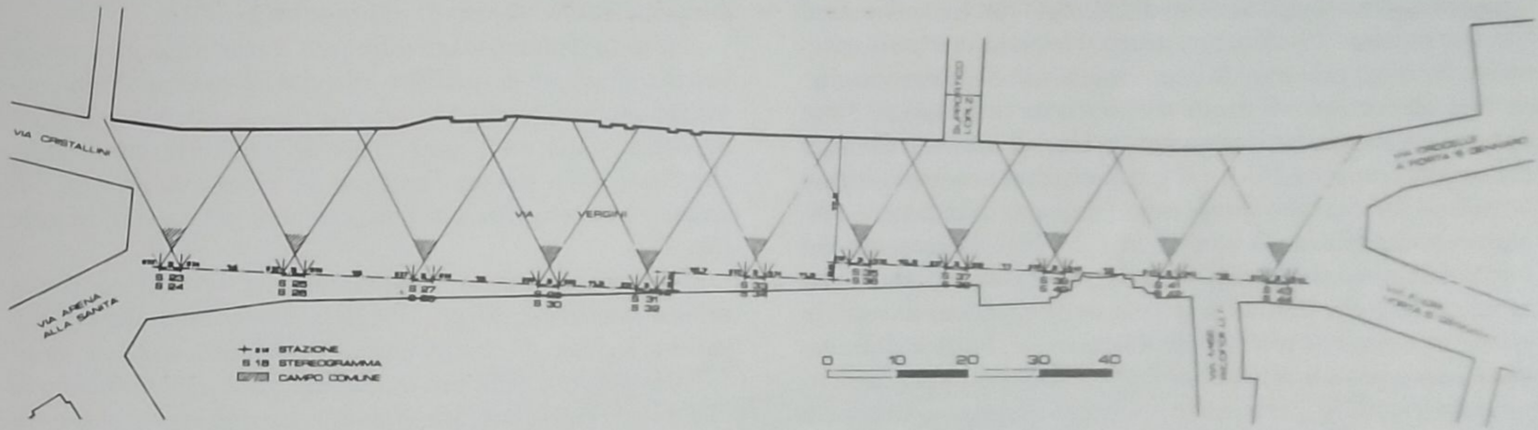


Fig. 23. Rilevamento fotogrammetrico delle cortine stradali di via dei Vergini a Napoli. Pianta del progetto di ripresa della cortina B. Rilevamento C. Cundari.

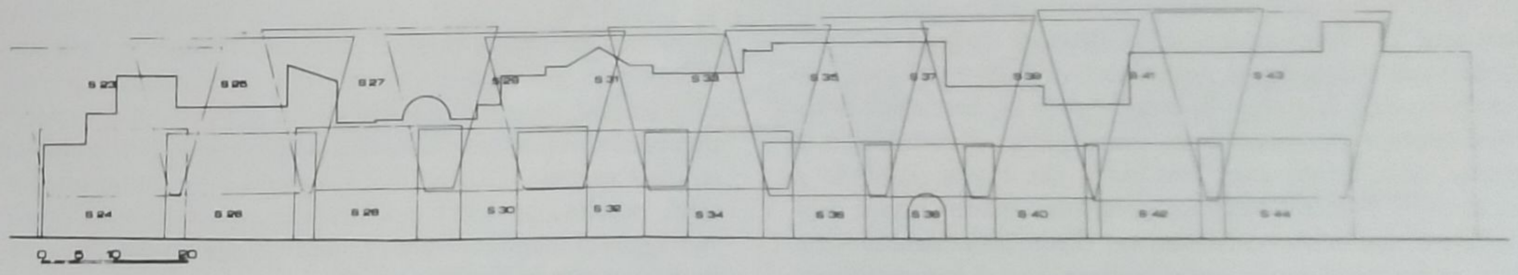


Fig. 24. Rilevamento fotogrammetrico delle cortine stradali di via dei Vergini a Napoli. Prospetto del progetto di ripresa della cortina B. Rilevamento C. Cundari.

un centro urbano sono essenzialmente concentrati nella fase di presa dei fotogrammi, poiché, per ciò che concerne la restituzione, essi sono analoghi a quelli già illustrati per il rilevamento degli edifici. In particolare, il progetto di ripresa dei fronti stradali lungo le vie dei centri urbani presenta alcuni problemi pratici, che vanno attentamente valutati, come quello relativo al tipo di camera da impiegare, dovendosi preliminarmente stabilire se usare una monocamera o una bicamera. Generalmente è da preferire la monocamera, poiché essa consente di variare la base di presa e quindi di adattarla alle diverse necessità imposte dalla scala del rilievo e dalle condizioni dei luoghi. Nel caso di strade sufficientemente larghe (oltre 15 m), la monocamera permette di adottare basi dell'ordine di 2 ÷ 3 m, in grado di effettuare riprese per scale 1:50 o minori, senza che si sia costretti a riprese molto ravvicinate, con conseguente aumento del numero dei modelli per ricoprire tutto il fronte stradale. Ovviamente questo vantaggio è in parte attenuato da maggiori tempi di posizionamento della monocamera. Nel rilevamento di strade molto strette (inferiori a 15 m), dovendosi mantenere il rapporto fra base di ripresa e distanza dal soggetto in circa 1/3 ÷ 1/7 e riducendosi necessariamente la base di ripresa, può essere utile l'impiego di bicamere, che hanno generalmente la base di m 1,20. Nel rilevamento dei centri urbani sarebbe utile, tuttavia, poter disporre sia di una monocamera che di una bicamera, onde scegliere di volta in volta l'attrezzatura più idonea. In generale, l'ottica delle camere impiegate nel rilevamento urbano dovrebbe essere di tipo grandangolare, per ridurre il numero delle stazioni di presa: per monocamere con formato 9 x 12, l'ottica più utilizzata è da 100 mm, mentre nelle bicamere con formato 6 x 9 si utilizza un'ottica da 60 mm.

Prima di procedere alla individuazione dei punti ove posizionare le camere per le prese, occorre fissare il piano di riferimento sul quale si potranno restituire i prospetti dei fronti stradali; la scelta, quando tutte le facciate degli edifici da rilevare giacciono in un unico piano, è immediata: in questo caso, infatti, esso non potrà che essere parallelo al piano delle facciate. Tuttavia, questa condizione non si verifica quasi mai in un centro storico, dove l'allineamento stradale, come pure quello delle facciate, non è mai rettilineo. Si tratta allora di posizionare il piano di riferimento in modo tale da tener conto dell'andamento dei prospetti da rilevare. In linea generale, comunque, è sempre possibile utilizzare un unico piano di riferimento, dal momento che questo semplifica notevolmente i problemi di ripresa[10]. Occorre infatti ricordare che, nella ripresa fotogrammetrica, è preferibile che la base sia disposta parallelamente al piano di riferimento. Per analizzare meglio i problemi a cui si è accennato, si possono osservare le figg. 22, 23, 24, 25, dall'analisi delle quali risulta evidente che i problemi inerenti il rilevamento dei centri urbani sono soprattutto di natura pratica e riguardano essenzialmente la fase di ripresa, la progettazione della quale costituisce l'elemento più delicato del rilevamento a scala urbana.

In Italia si sono eseguiti diversi rilevamenti fotogrammetrici di centri storici, fra i quali si segnalano quello di Roma, quelli della regione Liguria, inerenti molti dei centri storici minori, e quello relativo al centro urbano di Jesi.

La fotogrammetria terrestre può essere impiegata anche per documentare il «profilo» o la vista d'insieme di un centro urbano, attraverso una serie di riprese effettuate a grande distanza, da punti particolari del territorio circostante, che consentano visioni d'insieme del centro da rilevare. Significativo a tal proposito il rilevamento dei Sassi di Matera (fig. 26).

Poiché i rilevamenti fotogrammetrici terrestri dei centri urbani sono finalizzati prevalentemente alla documentazione storica, le scale di restituzione dei medesimi sono di solito 1:200 e 1:100 e solo in casi particolari è richiesto un rilievo di dettaglio a scala maggiore (fig. 27). La precisione di questo tipo di rilevamento, pertanto, non deve mai essere troppo elevata e può essere mantenuta all'interno dell'errore di graficismo.

Quando le cortine stradali appaiono costituite da edifici le cui facciate sono pressoché piane, il rilevamento delle medesime può essere effettuato utilmente con il metodo del raddrizzamento, con il quale, come si è già detto nel capitolo precedente, è possibile ottenere un fotomosaico della cortina stradale in scala 1:100 o 1:50. I risultati sono molto interessanti, poiché i prospetti così ottenuti presentano il duplice vantaggio di fornire misure in scala e di documentare lo stato di conservazione delle superfici.

La ripresa per realizzare il fotomosaico viene effettuata con camere metriche, mentre la ricopertura fra i singoli fo-

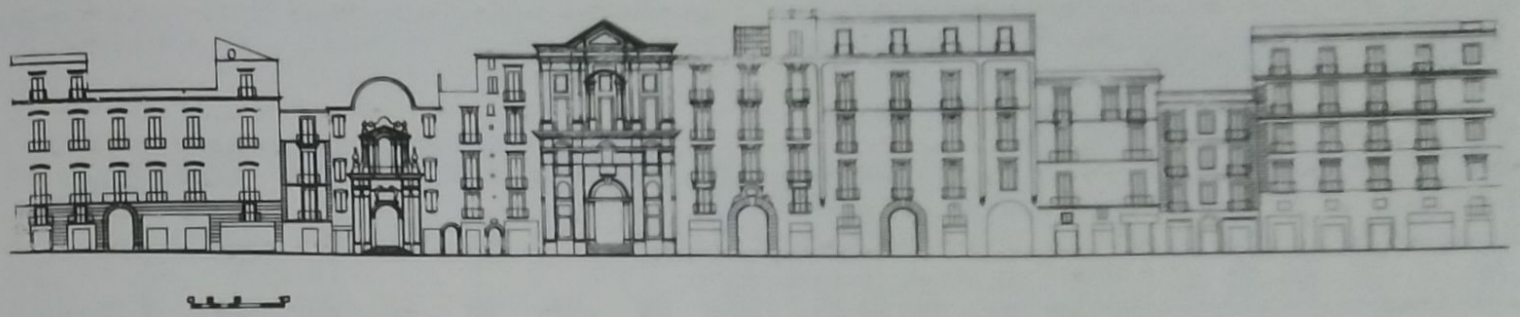


Fig. 25. Grafico di rilevamento della cortina B di via dei Vergini a Napoli. Rilevamento C. Cundari.

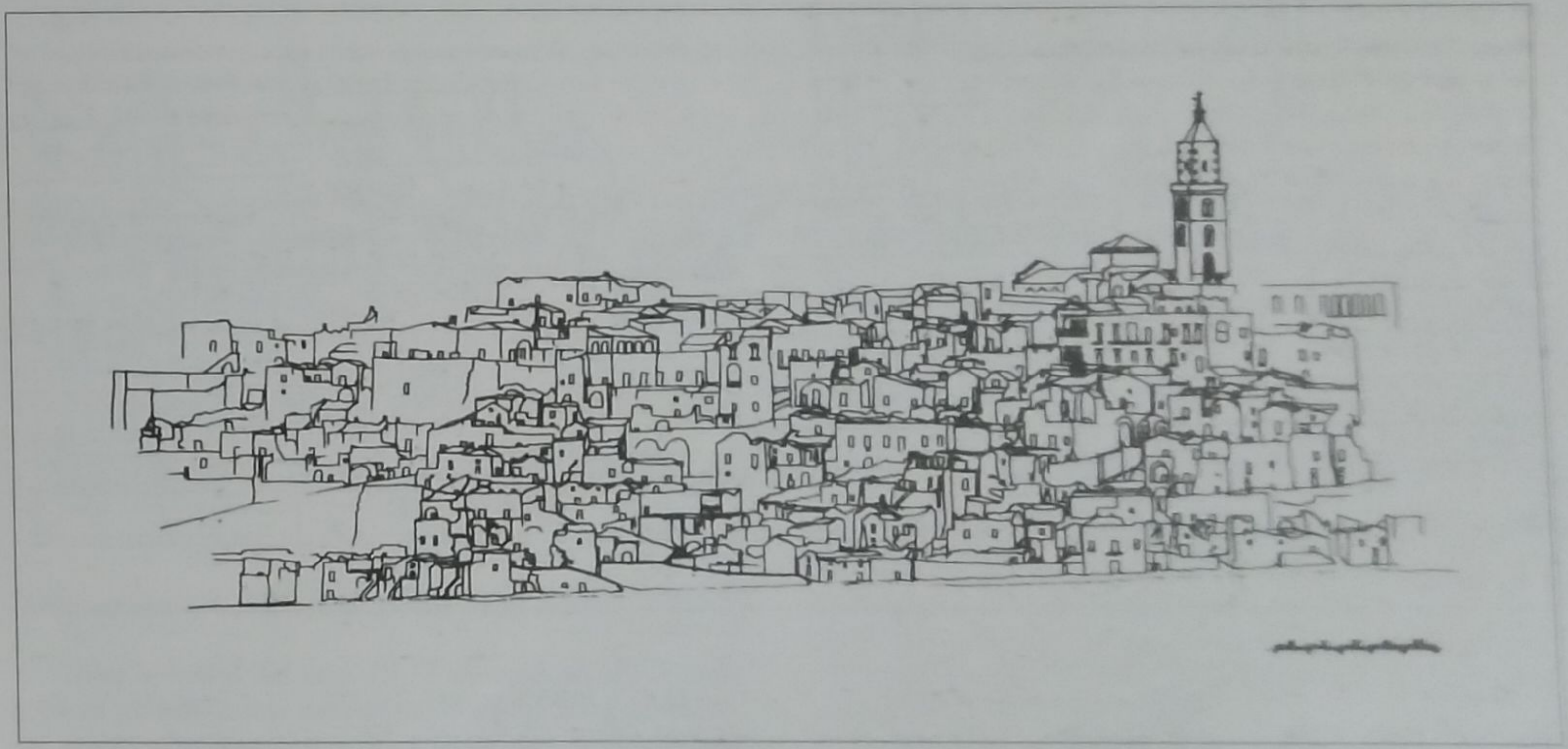


Fig. 26. Rilevamento fotogrammetrico a distanza (profilo), del rione Sassi di Matera. Rilevamento A. Daddabbo.

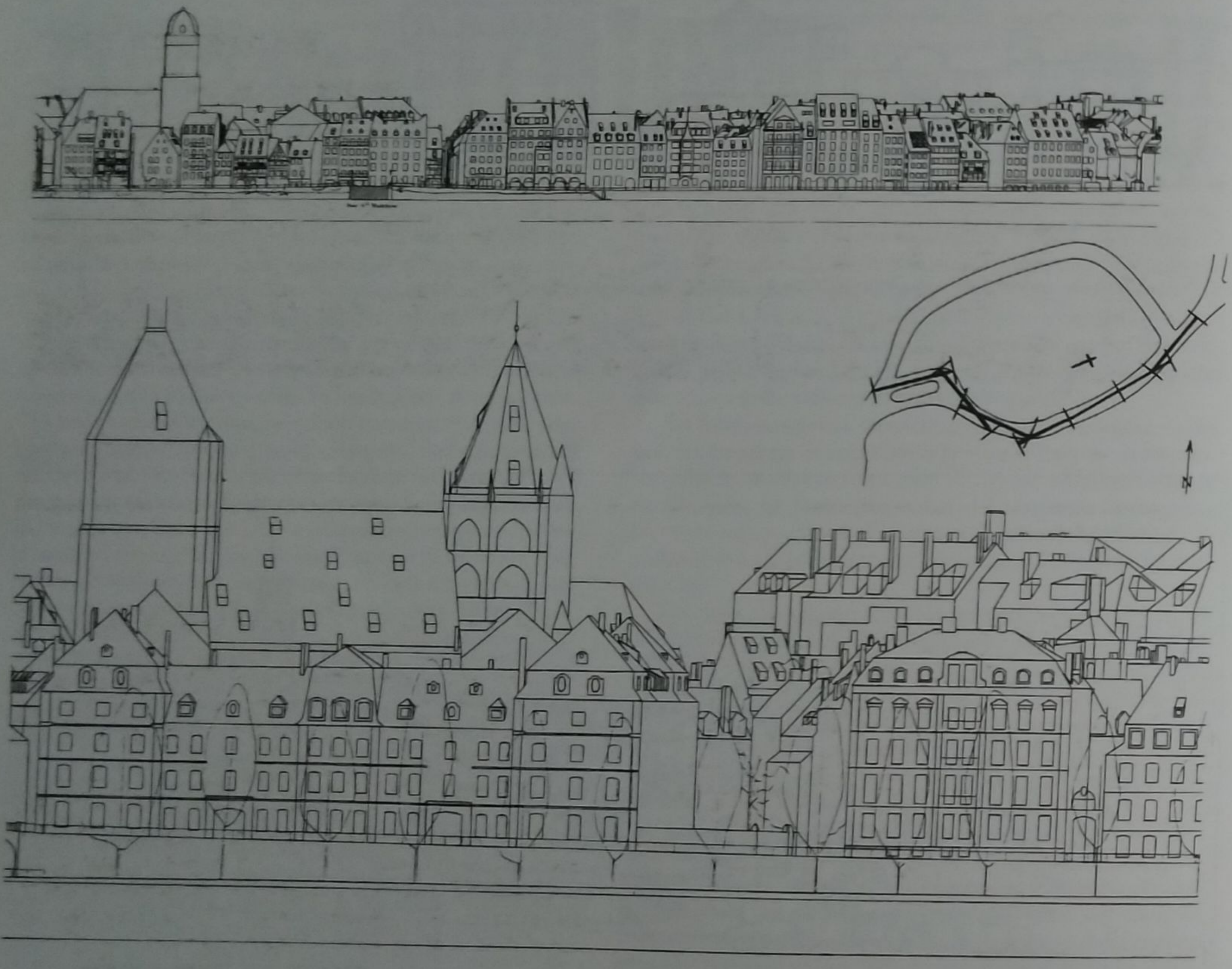


Fig. 27. Strasbourg (Francia). Documentazione fotogrammetrica per il piano di salvaguardia e valorizzazione del centro storico. Prospetti, a diversa scala, del quartiere presso la chiesa di San Tommaso. Rilevamento «Institut Géographique National de France pour le Ministère de l'Equipement», architetto B. Monnet.

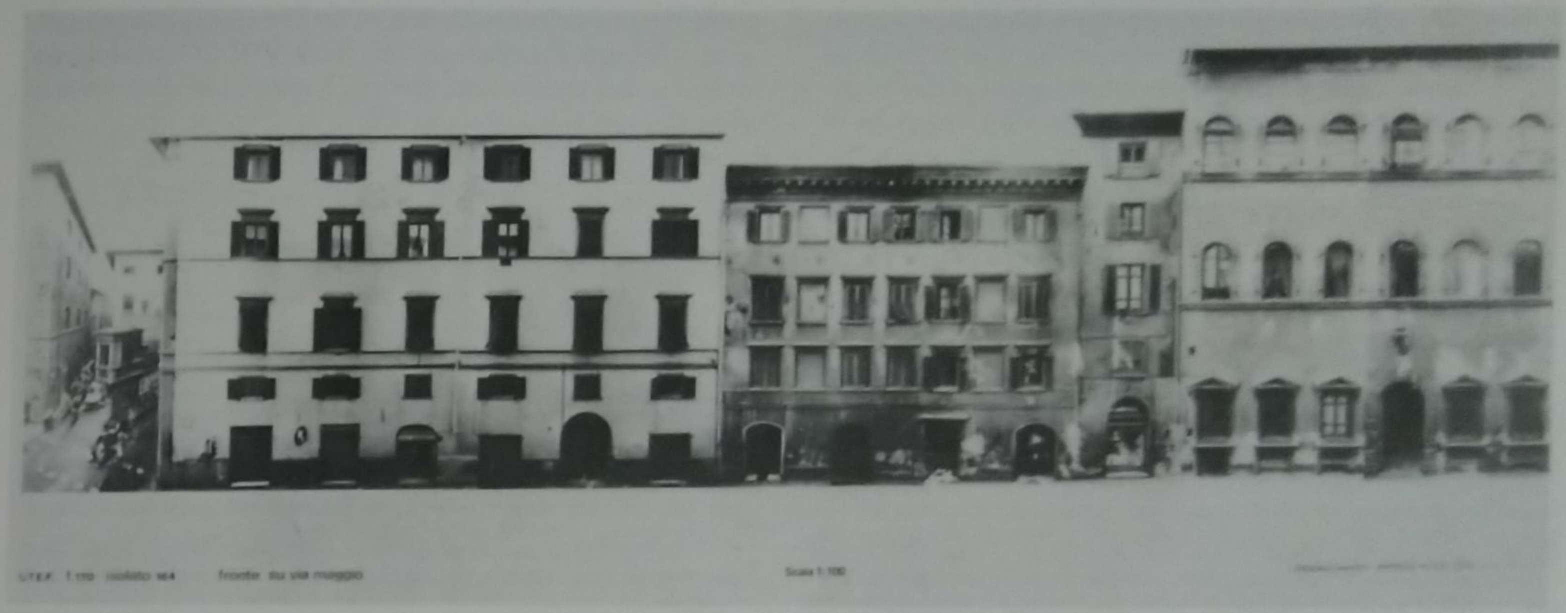


Fig. 28. Raddrizzamento, in scala 1:100 (originariamente), del quartiere Santo Spirito a Firenze (via Maggio) eseguito dalla società Rossi per la Sovrintendenza per i Beni architettonici e ambientali di Firenze.

togrammi deve consentire il riconoscimento di parti comuni; su ogni porzione di prospetto abbracciata da un singolo fotogramma vanno rilevati, con i normali metodi topografici, cinque punti di appoggio. I singoli fotogrammi, dopo essere stati raddrizzati e riportati alla scala di rappresentazione prefissata, vengono montati a mosaico, utilizzando i punti di controllo per assicurare la perfetta corrispondenza dell'insieme.

La fig. 28 mostra gli interessanti risultati ottenuti con l'impiego dei fotomosaici per rilevare le cortine stradali.

Il rilevamento con il laser scanner dei centri urbani

Come si vedrà nel cap. IX, il rilevamento con i laser scanner sta lentamente soppiantando quello fotogrammetrico; questa circostanza si verifica anche per il rilevamento dei centri storici, dove il laser si dimostra particolarmente utile tanto da farlo preferire alla fotogrammetria. Il laser scanner viene impiegato in modo molto simile alla fotocamera impiegata nel rilevamento fotogrammetrico, può essere utilizzato per il rilevamento dei fronti stradali e per quello delle volumetrie urbane, in quest'ultimo caso viene montato su elicotteri che possono volare a bassa quota riprendendo la città dall'alto.

Particolarmente felice si rivela l'impiego del laser nel rilevamento dei fronti delle piazze e delle strade molto larghe, dove è possibile utilizzare la funzione di ripresa ruotante di 360°; in questo caso, se non vi sono importanti aggetti, con pochi punti di stazione è possibile rilevare tutto lo spazio urbano intorno allo strumento (tavv. V-VII). Il rilevamento dei fronti stradali di larghezza inferiore a 15 m si rileva più complesso, dal momento che occorrono riprese molto inclinate e comunque occorrono molte prese per ottenere la completa ricopertura di un fronte stradale.

In ogni caso, la rapidità della presa assicura un notevole vantaggio sui costi del rilevamento.

Ai fini del progetto di presa con il laser scanner valgono

le stesse considerazioni già fatte per il posizionamento della fotocamera nelle riprese fotogrammetriche e le indicazioni del rilevamento con il laser scanner delle opere architettoniche. Si ricorda che il rilevamento laser fornisce una nube di punti che può essere proiettata su un piano verticale per fornire i prospetti dei fronti stradali (tavv. VIII-IX); qualora sia richiesta una restituzione grafica, è necessario elaborare la nube di punti (cfr. *infra*, cap. IX).

Note

[1] Sul concetto di centro storico, può dirsi esemplare quanto affermato da Ludovico Quaroni: «E sarà importante cercar di capire da cosa derivi quella armonia che lega tutte insieme fra loro le costruzioni, grandi e piccole, monumentali e minime, e il valore che quella gerarchia di spazi che dalle porte della città conduce naturalmente, senza artificio, verso la piazza o verso la cattedrale, e il rapporto che costruzioni e spazi vuoti stabiliscono fra loro nei vari luoghi, con funzioni essenziali della vita, individuale e familiare, di relazione collettiva. Come sarà importante ricostruire le dimensioni massime, per le unità costituenti il tessuto d'una città o d'una metropoli, che permettono ancora la riconoscibilità dei luoghi e l'incontro sociale: se è mutato il senso politico del vivere sociale, il senso umano dello stesso dipende ancora dalle dimensioni fisiche e mentali dell'uomo, che è sempre il medesimo», in *Siena centro storico*, Milano 1983, p. 15.

[2] Sul problema del rilevamento dei centri urbani, cfr. M. Fondelli, *Prospettive di una normativa tecnica Icomos per il rilevamento dei centri urbani e dei monumenti*, I Conferenza Nazionale di Cartografia, Firenze 1979; P. Albisinni, L. De Carlo, *Oltre il rilievo. Uno studio metodologico delle interrelazioni tra rilievo e progetto per l'intervento nell'ambiente costruito*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. I, n. 0, Roma 1989; A. De Sanctis (a cura di), *Rilevamento urbano: tipologie edilizie e spazi urbani nel centro antico di Cosenza*, Rende, 2002.

[3] Per maggiori informazioni sul problema della scelta del piano di riferimento, cfr. *supra*, cap. V.

[4] Per maggiori informazioni sulle poligonali, cfr. *supra*, cap. IV.

[5] Per maggiori informazioni sul rilevamento per irradiamento, cfr. *supra*, cap. IV.

[6] L'ICOMOS è nato da una iniziativa patrocinata dall'UNESCO, nell'intento di assicurare una tutela e una conservazione più efficaci del patrimonio culturale e naturale dei vari paesi. La convenzione sulla protezione del patrimonio culturale e naturale venne firmata a Parigi.

[7] L'ICOMOS ha promosso un Comitato internazionale per la fotogrammetria architettonica (CIPA, Comité International de Photogrammétrie Architecturale).

[8] Un esempio di rilevamento di centro urbano in scala 1:200 è riportato nella fig. 14, dove è rappresentato il rilevamento fotogrammetrico di Genova, realizzato dalla Aerofoto Consult, Roma.

[9] Collegando il restitutore fotogrammetrico con un elaboratore elettronico, è possibile registrare tutte le coordinate dei punti rilevati. I dati registrati, elaborati da particolari programmi, consentono di trasferire ad un plotter tutte le rappresentazioni cartografiche che si desiderano. Un esempio di cartografia numerica, realizzata in scala 1:500, è riportato nella fig. 19.

[10] Per quanto attiene alla scelta del piano di riferimento, si rinvia a quanto detto al cap. IV del documento CIPA, relativo ai *Consigli e suggerimenti per l'ottimizzazione dei rilievi fotogrammetrici d'architettura*. Il testo completo di tale documento è reperibile nel saggio di C. Cundari, *Fotogrammetria architettonica*, Roma 1983.

Capitolo settimo

Metodologie per il rilevamento archeologico

Aspetti generali

Particolarmente difficile per l'ampiezza, la complessità e la specificità dell'argomento si presenta la trattazione del rilevamento di strutture architettoniche dislocate in siti archeologici e quello di aree di scavo[1]. Il rilevamento è, senza dubbio, strettamente connesso con lo scavo; anzi, spesso, le due operazioni procedono insieme, dall'inizio alla fine dei lavori, e debbono tendere alla massima integrazione; è chiaro, quindi, che non si può parlare dell'uno senza occuparsi dell'altro e che la messa a punto dello scavo stratigrafico è certamente opera che compete a specialisti. Va subito detto inoltre che in questo, forse ancor più che negli altri settori di ricerca, è indispensabile una conoscenza profonda sia dell'area da rilevare, sia dei problemi storici ad essa connessi.

Nel caso di strutture architettoniche parzialmente crollate, ma fuori terra, almeno nelle parti principali, il rilevamento (pur opportunamente integrato dalla particolare metodologia prescelta in relazione alla situazione in oggetto e dagli adattamenti alla specificità del luogo) segue i princìpi generali di quello architettonico, che sono la definizione di una poligonale di inquadramento, l'ancoraggio o meno alla rete topografica nazionale, le trilaterazioni o le triangolazioni per il posizionamento delle strutture fuori terra e successivamente, per quelle riportate alla luce, l'impiego di più metodi di misurazione diretta e indiretta, in relazione alle particolari strutture stesse.

Quando, invece, si tratta di un'area archeologica (o presumibilmente tale), su cui effettuare uno scavo più o meno generalizzato, allora quest'ultimo deve essere preceduto da apposite operazioni, che consentano la successiva raccolta critica del maggior numero di informazioni possibili. Queste operazioni consistono principalmente nella delineazione, sul terreno, di un grigliato di base a maglie quadrate o rettangolari[2], nella individuazione di una retta base (direzione di scavo), in genere coincidente con un lato del grigliato, e nella individuazione di un piano di riferimento orizzontale, passante preferibilmente per il punto più alto del sito da scavare.

Grigliato di base, retta fondamentale e piano orizzontale permettono di determinare in diversi modi le tre coordinate per posizionare, nell'ambito del reticolo generale, un qualsiasi oggetto ritrovato nel corso dello scavo. L'ubicazione spaziale di un punto può effettuarsi con uno qualsiasi dei metodi descritti a proposito del rilevamento diretto e di quello strumentale.

Valgono, anche per il rilevamento archeologico, i concetti che sono alla base di quello architettonico, vale a dire la necessità di integrare più metodi di rilevamento per la individuazione delle misure, l'importanza della relazione esistente tra scala di riduzione e qualità e quantità delle informazioni architettonico-archeologiche. Da tenere presente, inoltre, anche i problemi di lettura, quali la chiarezza, con le relative grafia e simbologia, nei disegni da pubblicare che, in genere, devono subire forti riduzioni, nonché l'esigenza di adottare, ove sia possibile, simboli analoghi in pianta, sezione e prospetto e quella di utilizzare i segni principali del rilevamento architettonico, con specificazioni appropriate in merito alla posa delle pietre, al tipo di finitura ecc. (figg. 1, 2)

In tutto ciò, il disegno appare strumento essenziale di analisi e rappresentazione[3]. In quest'ambito, perciò, acquista particolare importanza la grafia, al fine di documentare i vari materiali impiegati nella costruzione e rimasti in sito o pre-

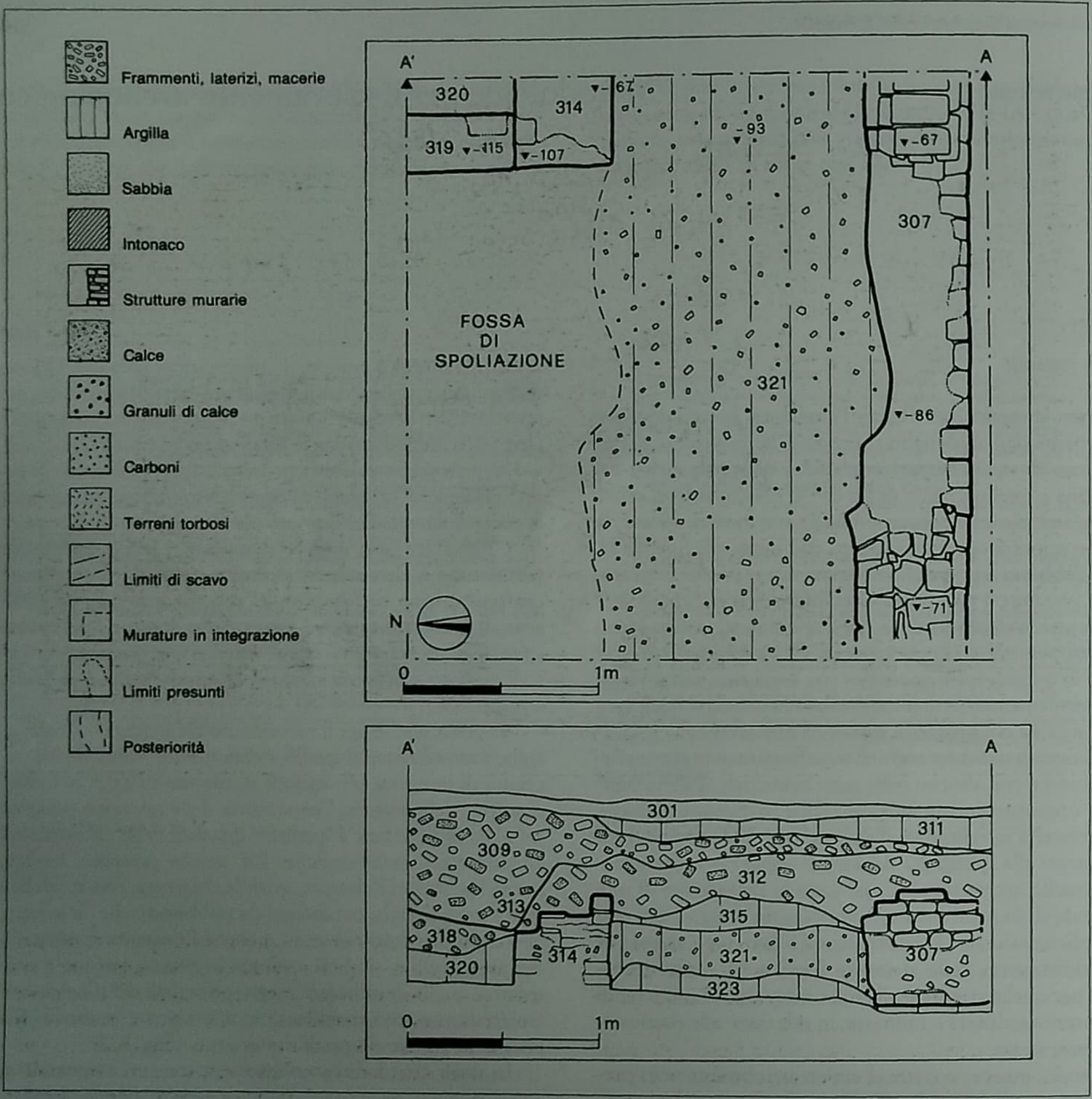


Fig. 1. Argenta (Ferrara), pieve di San Giorgio. Legenda, pianta e sezione del settore 1 di scavo, con esemplificazioni delle fasi 1 e 2 delle operazioni effettuate (S. Gelichi).

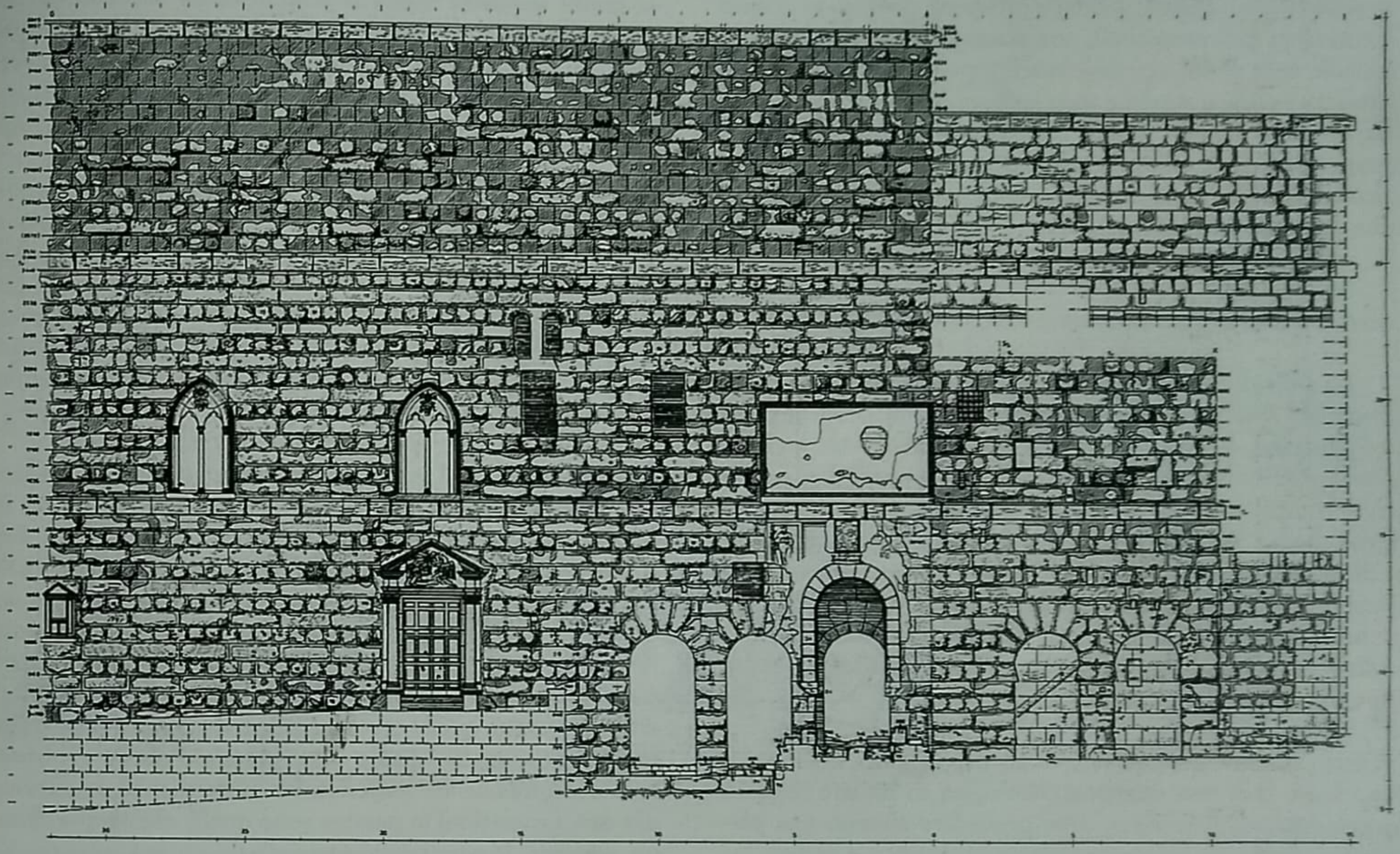


Fig. 2. Roma, Foro di Augusto. Rilevamento del muro perimetrale (parte destra, fronte su via Tor de' Conti). Rilevamento H. Bauer, M. Forcatura (1981-82).

senti con labili tracce o scomparsi (ad esempio il legno, documentabile sia con prove dirette, come calchi e fori d'infissione, sia con testimonianze indirette, come raffigurazioni antiche di vario genere); tutti i materiali, infatti, dovrebbero figurare nel rilevamento, anche se naturalmente con segni che ne distinguano la presenza concreta, la labilità o la scomparsa (espressi con grafia congetturale che indichi l'andamento di travi di legno perdute ecc.). La grafia, inoltre, nei disegni in pulito, dovrebbe differenziare il segno adatto a delineare pietre perfettamente squadrate da quello scelto per la rappresentazione di pietre con facce non regolari o non spianate, così come notevole importanza acquista l'individuazione dei vari tipi di materiali osservati. Quanto ai grafici, è chiaro che non possono sostituire la realtà stratigrafica o quella archeologica nel loro complesso; essi sono solo esemplificazioni, modelli, diagrammi della complessa realtà archeologica stratificatasi su un sito, raffigurazioni schematiche, utili per la comprensione di ciò che si è parzialmente perduto con

lo scavo stesso. Piante, sezioni e prospetti, proprio in quanto figurazioni bidimensionali, non possono certo dare un'idea globale della realtà, che deve essere ricostruita, pertanto, con una lettura integrata delle varie raffigurazioni. In questo senso, un aiuto maggiore viene offerto dalle assonometrie e, in particolare, dagli spaccati e dai diagrammi assonometrici, che risultano di più rapida esecuzione e di più facile lettura anche per i non addetti ai lavori[4].

Metodologie per il rilevamento archeologico

La scale di riduzione più frequentemente usate in questa disciplina sono, per quanto riguarda le planimetrie e le piante d'insieme, 1:500, 1:200, 1:100, con convenzioni grafiche che non si discostano da quelle adoperate per il disegno architettonico, mentre i rapporti di 1:50, 1:20, 1:10 e 1:1 si preferiscono, in relazione a tutti gli elaborati di documentazione e di studio del sito o dello scavo o dei resti murari, con convenzioni grafiche e simbologia di carattere più specificamente archeologico, da approntarsi quasi caso per caso, anche sulla scorta di simbologie adottate da Soprintendenze o da altri enti preposti.

Piante. La documentazione di un rilevamento, nel caso di uno scavo o di una ricerca archeologica su un sito o su un organismo architettonico, deve prevedere almeno una planimetria generale, ancorata a elementi stabili nel tempo, facilmente rintracciabili, ove possibile legati alla rete trigonometrica nazionale, e una pianta d'insieme che presenti la poligonale fondamentale (chiusa o aperta) o le linee basi, esterna ed interna, riferita ai punti principali, l'indicazione dei riquadri o delle zone scavate e da scavare, delle sezioni principali eseguite, le quote plano-altimetriche fondamentali ecc. Poiché le piante a grande o a grandissima scala (da 1:50 a 1:20, 1:10) rappresentano, in archeologia, elementi basilari per la comprensione dell'impianto originario e delle successive trasformazioni subite dai vari reperti, la loro esecuzione deve essere quanto mai rigorosa, sia concettualmente che tecnicamente[5] (figg. 3, 4). Esse, infatti, servono a comprendere le fasi evolutive, nello spazio e nel tempo, del sito o dell'organismo architettonico, al fine di collocare nella giusta sequenza logica le stratificazioni succedutesi nel tempo. Tali piante possono essere di vario tipo: dalle più semplici, che recano l'indicazione degli schemi di trilaterazione effettuati nel rilevamento, a quelle relative alle singole unità di stratificazione, nel caso di uno scavo archeologico, fino alle cosiddette «piante composite», che documentano gli insiemi archeologici di superficie e le unità stratigrafiche, con l'individuazione, mediante apposita simbologia, di tutti gli elementi murari ritrovati, dei materiali e delle tecnologie impiegate[6]. Le piante composite sono poi completate con quote plano-altimetriche, scritte esplicative, riferimenti vari alle sezioni, ai reperti, alle operazioni eseguite o no e indicazioni consuete (orientamento, legenda, scala grafica, capisaldi planimetrici ecc.).

Sezioni. Le sezioni costituiscono ancora oggi le rappresentazioni grafiche per eccellenza di uno scavo archeologico. In passato, la maggior parte degli archeologi prediligeva, infatti, tale tipo di disegni rispetto alle piante, per la possibilità da essi offerta di controllare in una sola immagine l'intera sequenza di unità stratigrafiche inerenti un sito, tutte le caratteristiche proprie delle unità stesse e le relazioni tra loro intercorrenti[7]. L'attuale archeologia stratigrafica utilizza diversi tipi di sezioni: quelle classiche, dette «in parete», quelle definite «occasionali», quelle «interpretate», quelle «volanti» ecc., a seconda delle caratteristiche concettuali di esecuzione di esse[8]. Le «sezioni in parete» sono quelle che rappresentano, appunto, le pareti dello scavo effettuato; le «occasionali» si riferiscono a trincee aperte per lavori non programmati o redatte dopo lo svuotamento di antiche cunette; le «interpretate» raffigurano schematicamente scavi di emergenza; le volanti presentano l'andamento delle linee di demarcazione degli strati individuati. A parte tali specificazioni (secondarie, rispetto alla scientificità che deve essere alla base di tutti i tipi di elaborati) o altre analoghe suddivisioni (sezioni schematiche, di dettaglio, per fasi evolutive ecc.), i concetti fondamentali da tenere presenti e a cui rifarsi, nell'esecuzione di una qualunque sezione, si possono così riassumere: essendo documentazione oggettiva di strati archeologici, la sezione deve analizzare e interpretare la sequenza verticale degli strati, deve poter essere messa in relazione con gli altri grafici eseguiti, rappresentare ciò che si osserva, elemento per elemen-

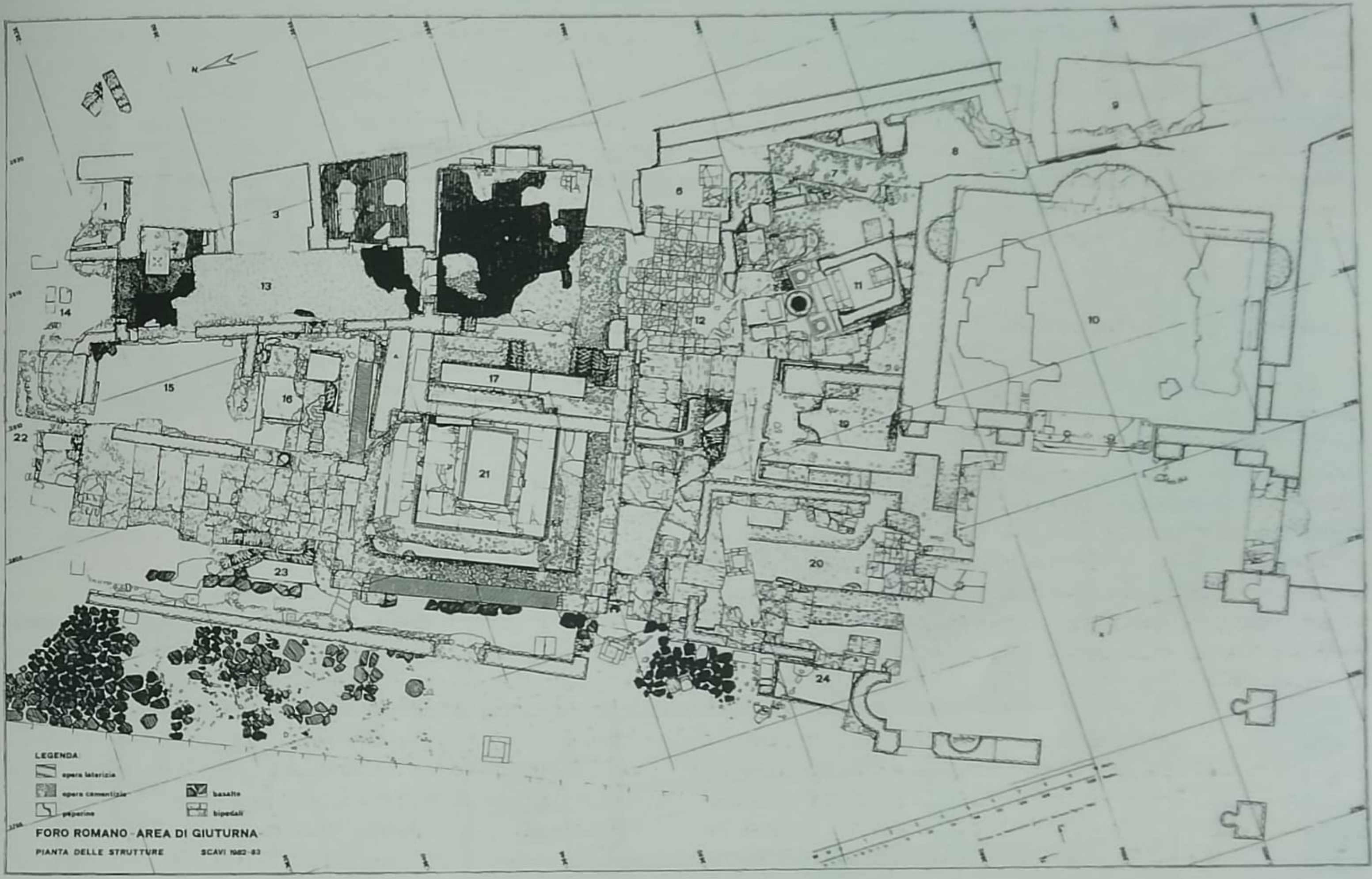


Fig. 3. Roma, Lacus Iuturnae. Pianta generale dell'area, rilevata nel 1982-83. Disegno allegato all'articolo di E.M. Steinby, *Lacus Iuturnae 1982-83*, in «Roma. Archeologia nel centro», Roma 1985.

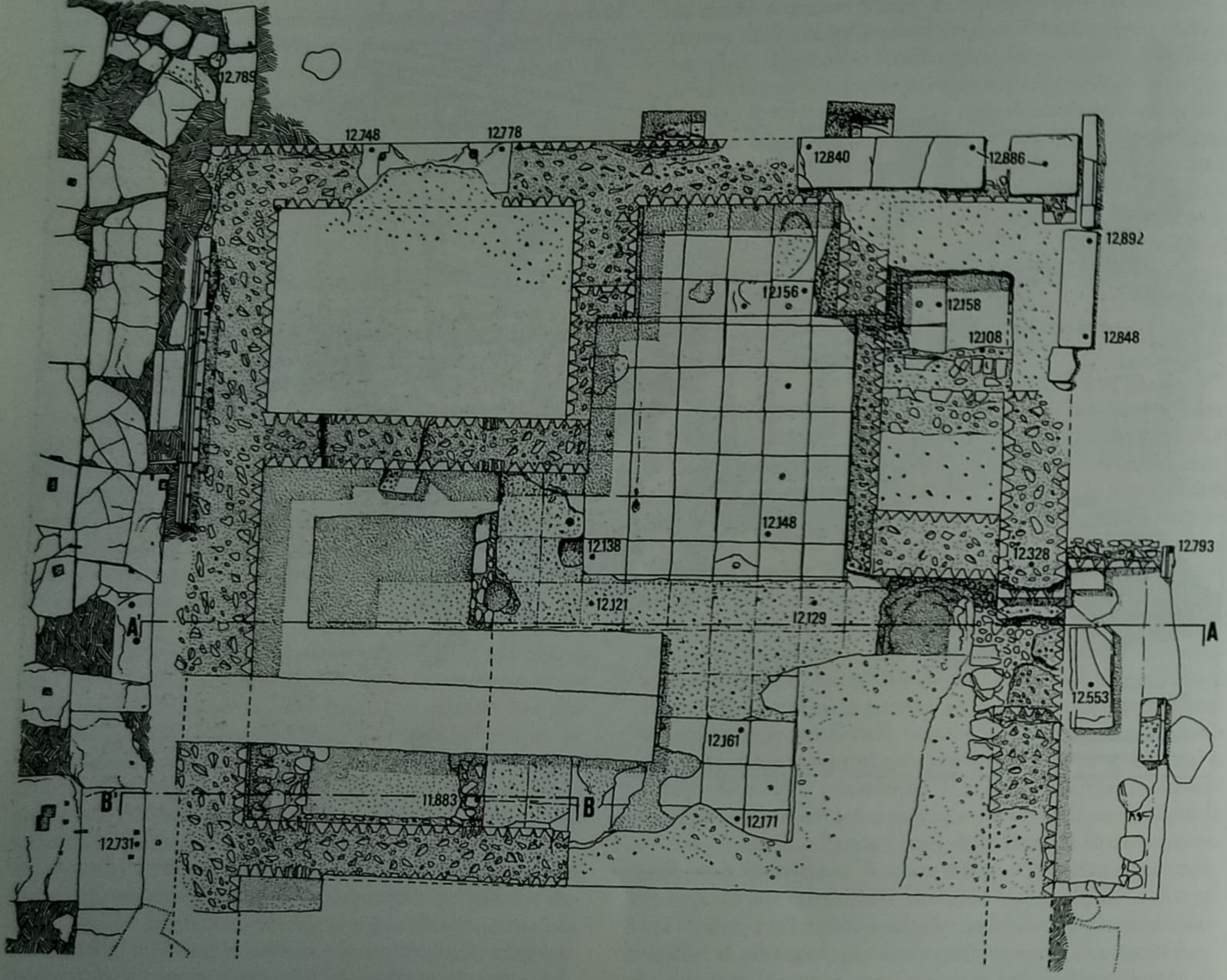


Fig. 4. Roma, Foro Romano. Rilevamento di dettaglio di un'area studiata nel 1979. Si noti la cura con cui sono resi i materiali e le strutture murarie antiche. Rilevamento C.F. Giuliani, P. Verduchi.

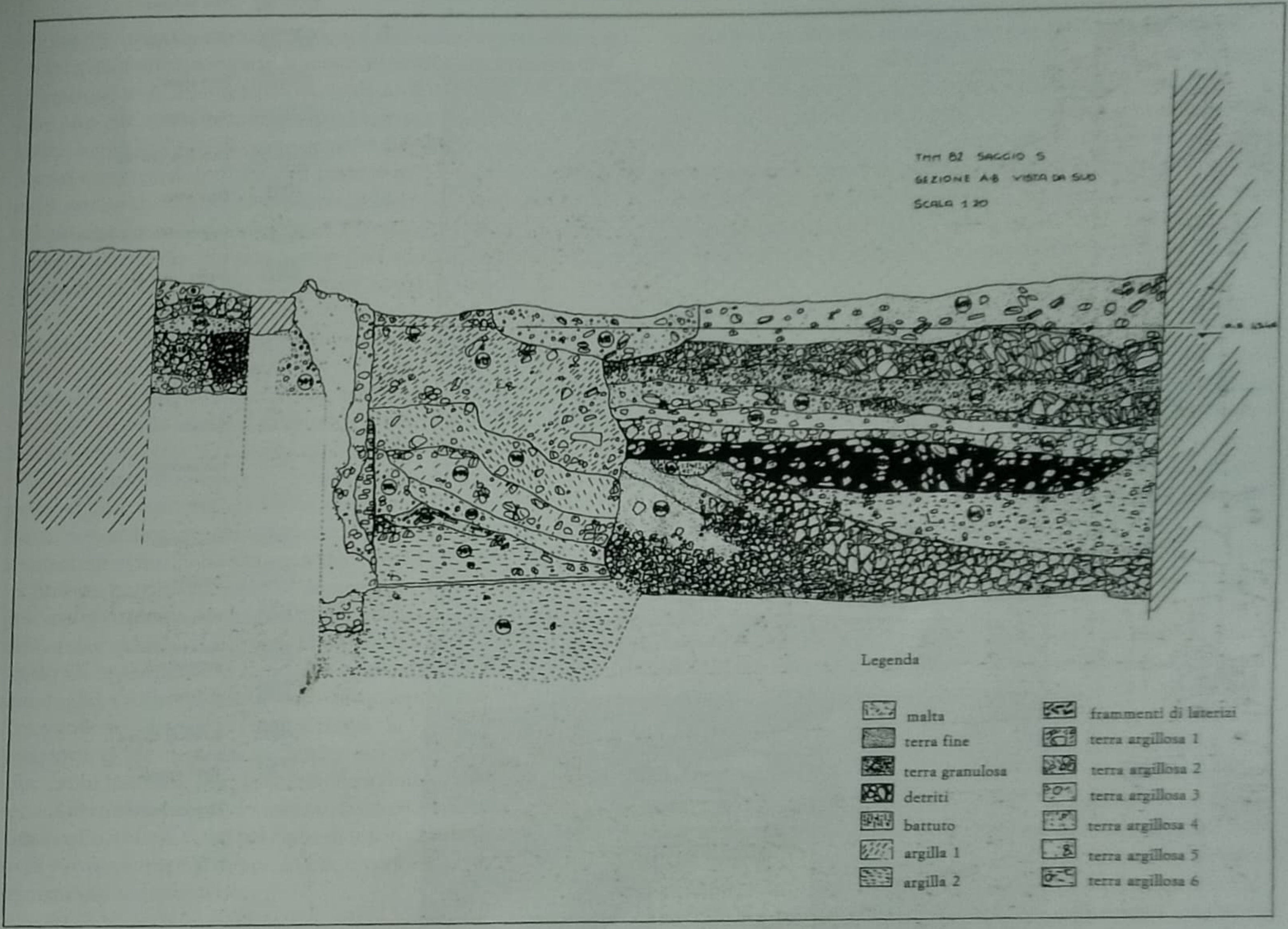
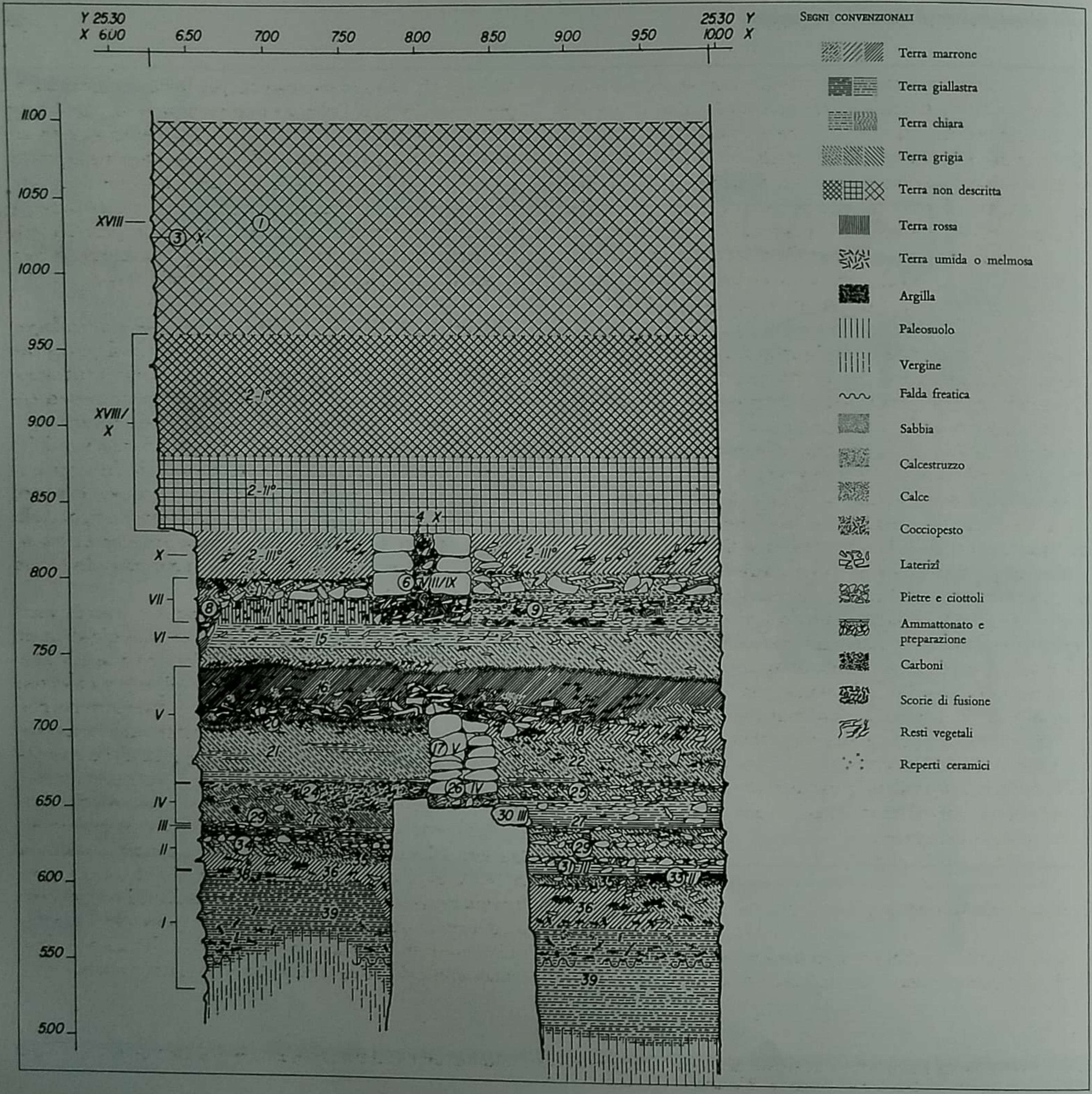


Fig. 5. Roma, area sud occidentale del Palatino. Sezione stratigrafica della grande fossa presso il lato ovest del tempio della Magna Mater. Rilevamento P. Pensabene.


Y 25.30
X 6.00
6.50
7.00
7.50
8.00
8.50
9.00
9.50
25.30 Y
10.00 X
11.00
10.50
10.00
9.50
9.00
8.50
8.00
7.50
7.00
6.50
6.00
5.50
5.00
XVIII
XVIII/X
X
VII
VI
V
IV
III
II
I
2-I°
2-II°
2-III°
4 X
6 VIII/IX
17 V
26 IV
30 III
31 II
33 II
Segni convenzionali
Terra marrone
Terra giallastra
Terra chiara
Terra grigia
Terra non descritta
Terra rossa
Terra umida o melmosa
Argilla
Paleosuolo
Vergine
Falda freatica
Sabbia
Calcestruzzo
Calce
Cocciopesto
Laterizî
Pietre e ciottoli
Ammattonato e preparazione
Carboni
Scorie di fusione
Resti vegetali
Reperti ceramici

to, essere eseguita contestualmente allo scavo e controllata o ridisegnata unitariamente, a scavo avvenuto; occorre poi che il disegno non sia «realistico» (vale a dire «fotografico»), e che non presenti licenze chiaroscurali, ma che il segno sia lineare e nitido; l'uso di convenzioni o schematizzazioni di elementi o materiali o di sistemi costruttivi va, inoltre, vagliato caso per caso, inserito entro limiti grafici precisi e stabilito in relazione alla scala di riduzione[9]. Ovviamente, le sezioni debbono essere conformi ai criteri grafici adottati per tutti gli altri elaborati eseguiti per raffigurare lo scavo (figg. 5, 6).

Prospetti. Prospetti e sezioni-prospetto di pareti parzialmente conservate ed elevantisi dal terreno risultano indispensabili, ai fini di una corretta interpretazione dei dati costruttivi. Spesso anche il prospetto mostra le sequenze delle fasi strutturali (fig. 7) e costruttive e permette di evidenziare i vari materiali impiegati, la diversa qualità e il tipo di lavorazione di essi, così come, nelle sezioni, la raffigurazione scientifica, senza licenze chiaroscurali o effetti realistici, è indispensabile ai fini della lettura e dell'analisi dell'edificio[10].

Infine, particolarmente in archeologia, in quei casi in cui la scarsità di dati o di altre fonti di conoscenza di un periodo può essere grande, il rilevamento diviene essenziale, permettendo di individuare e delineare graficamente gli strati archeologici, i reperti e il loro stato di conservazione all'atto del ritrovamento (integri o frammentati), la loro ubicazione, la posizione degli elementi architettonici dopo la loro caduta (per cause naturali, per distruzione violenta, per abbandono ecc.), i materiali e il modo con cui furono impiegati (essi costituiscono, infatti, fonti preziose di informazione circa il luogo di provenienza e il tempo in cui furono utilizzati), l'uso di determinati strumenti ecc.

Il rilevamento fotografico

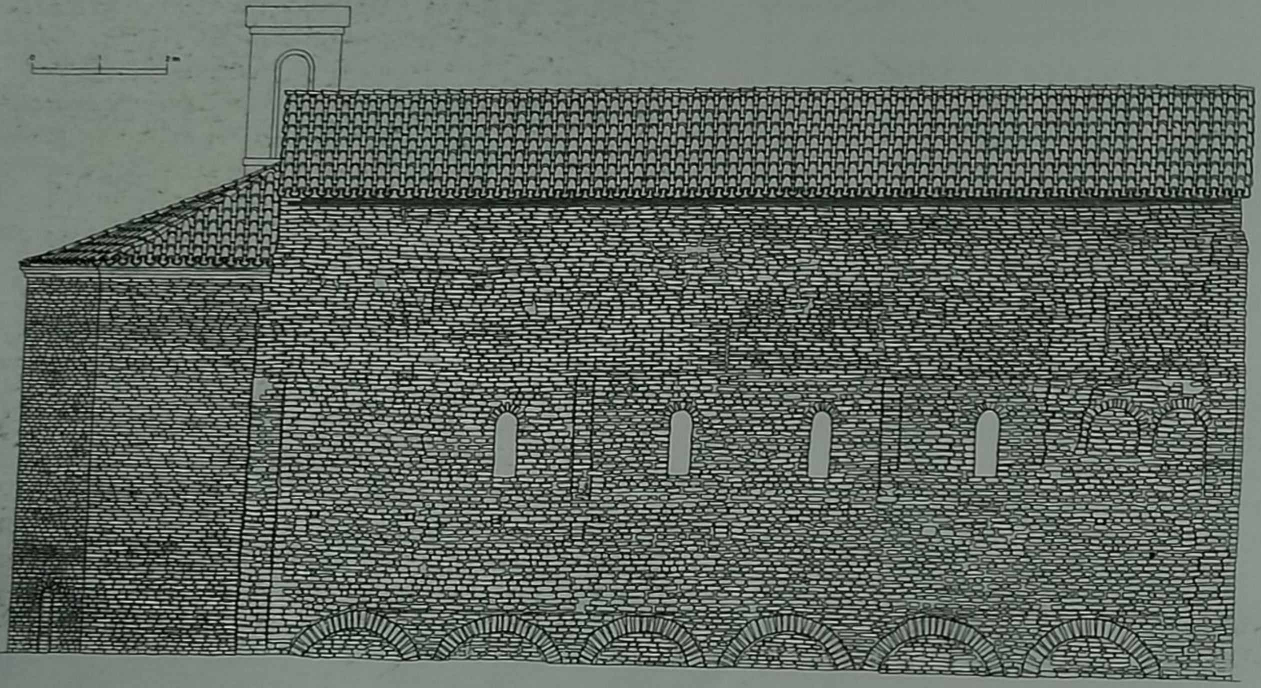
La fotografia costituisce uno dei metodi più importanti per la documentazione delle ricerche archeologiche, sia per la semplicità del suo impiego, sia per la sua economicità, sia per la possibilità di utilizzare informaticamente, per ulteriori elaborazioni grafiche, le immagini digitali effettuate. In sintesi, la fotografia impiegata nella documentazione archeologica si può dividere in due categorie: a) fotografia terrestre; b) fotografia aerea. Mentre nel primo caso vengono impiegate macchine normali, tradizionali e digitali, sia pure di livello professionale, nel secondo caso si usano macchine particolari, adatte per il rilevamento aerofotogrammetrico.

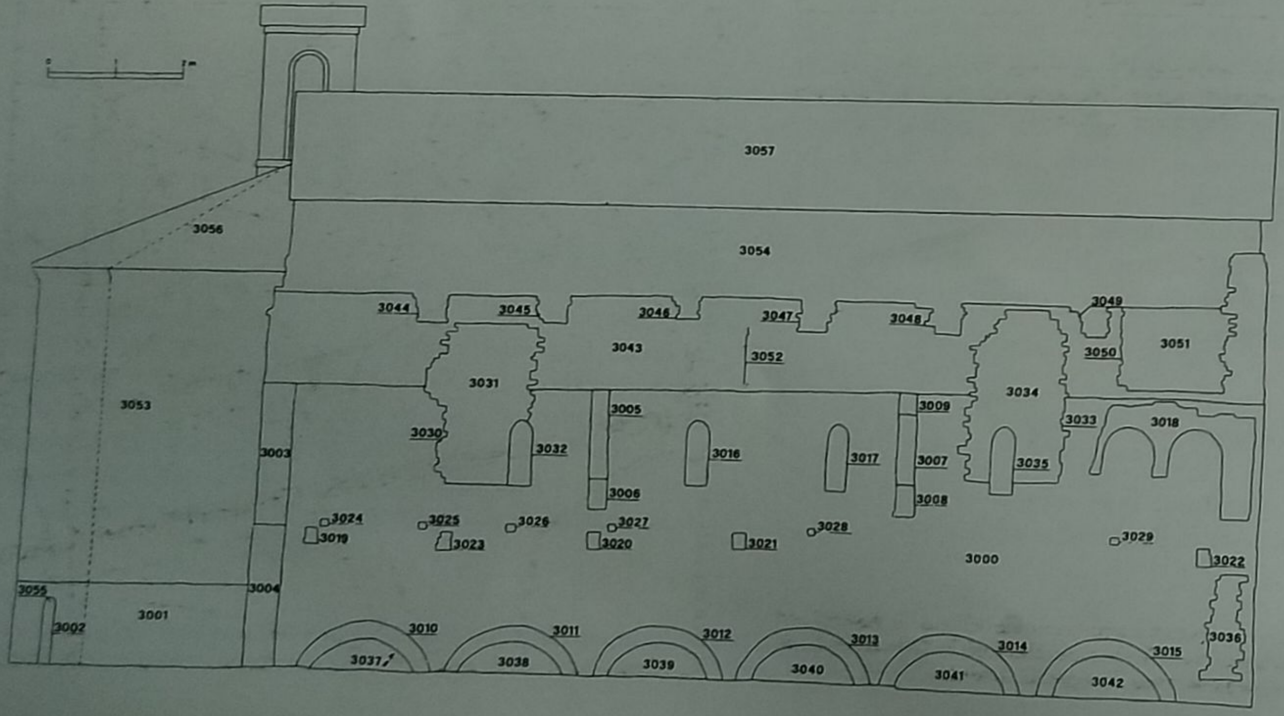
L'impiego della fotografia nella documentazione archeologica. Se nello specifico settore del rilevamento archeologico, la fotografia occupa un posto considerevole, in quanto consente di documentare e agevolare varie operazioni, per altri settori, come quello dell'archeologia subacquea e della ricerca archeologica, ad esempio, essa rappresenta una parte fondamentale[11].

Ai fini della documentazione essa è utile, inoltre, per avere cognizione dell'ambiente in cui viene effettuato lo scavo, delle fasi di esso, del suo insieme e delle varie parti, di crolli più o meno estesi di strutture edilizie, per esaminare elementi o strutture poco o nulla considerati in una precedente fase di studio[12].

La fotografia è di grande ausilio anche negli scavi di emergenza e nel rilevamento rapido di tessiture murarie, di tarsie marmoree, di pavimentazioni geometriche e no, specie se si utilizza, come schema di riferimento, un telaio (1 x 1 ml), con rete di fili a maglie quadrate o rettangolari. È opportuno, poi, che sezioni stratigrafiche, piante di ambienti, strati archeologici, oggetti vari, murature ecc., siano oggetto di vere e proprie campagne fotografiche, da svolgere con attenzione e meticolosità, specie dopo le operazioni di contorno[13], che vanno dalla pulizia del luogo e degli elementi da fotografare, alla scelta del punto di vista migliore per valorizzare quanto si riprende, al posizionamento di unità di misura (paline, regoli, triplometri ecc.), di una freccia per indicare l'orientamento, di una lavagna con i dati principali relativi allo scavo (località, ambiente, sezione, data ecc.), fino all'indispensabile numerazione dei fotogrammi per la loro archiviazione.

Fig. 6 (*a fronte*). Pistoia, antico Palazzo dei Vescovi. Sezione (n. 25) relativa allo scavo, effettuato dal 1973 al 1980, in un ambiente (vano 009) del palazzo, e segni convenzionali adottati per la redazione dei grafici. Rilevamento G. Vannini.




3057
3056
3054
3044
3045
3046
3047
3048
3049
3043
3052
3031
3050
3051
3034
3053
3005
3009
3033
3018
3030
3032
3003
3016
3017
3007
3035
3006
3008
3024
3025
3026
3027
3028
3019
3023
3020
3021
3029
3000
3022
3055
3004
3001
3002
3010
3011
3012
3013
3014
3036
3015
3037
3038
3039
3040
3041
3042

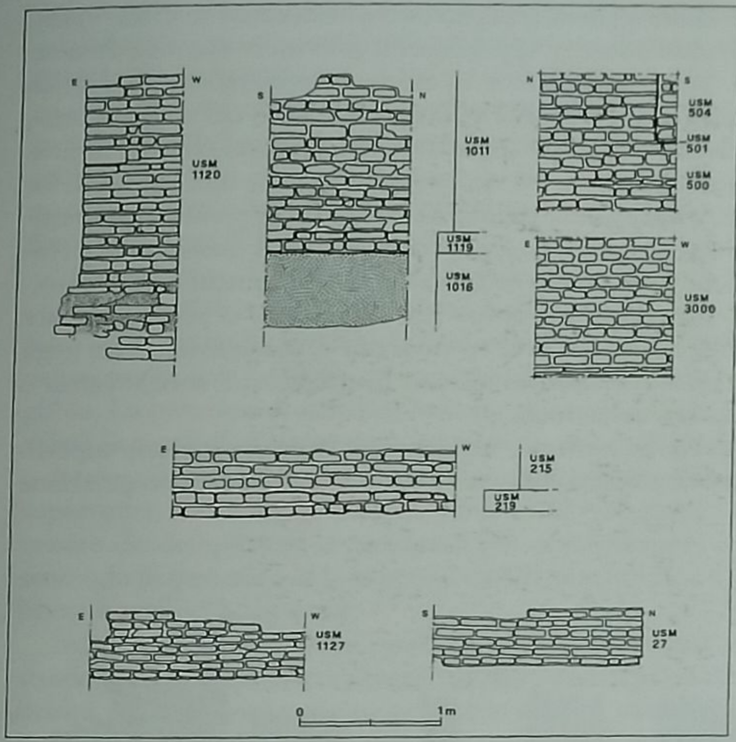


Fig. 7 (*a fronte* e *sopra*). Argenta (Ferrara), Pieve di San Giorgio. Prospetto settentrionale e lettura dei paramenti murari dello stesso; campionatura di alcune unità stratigrafiche murarie. Rilevamento V. Brunetti.

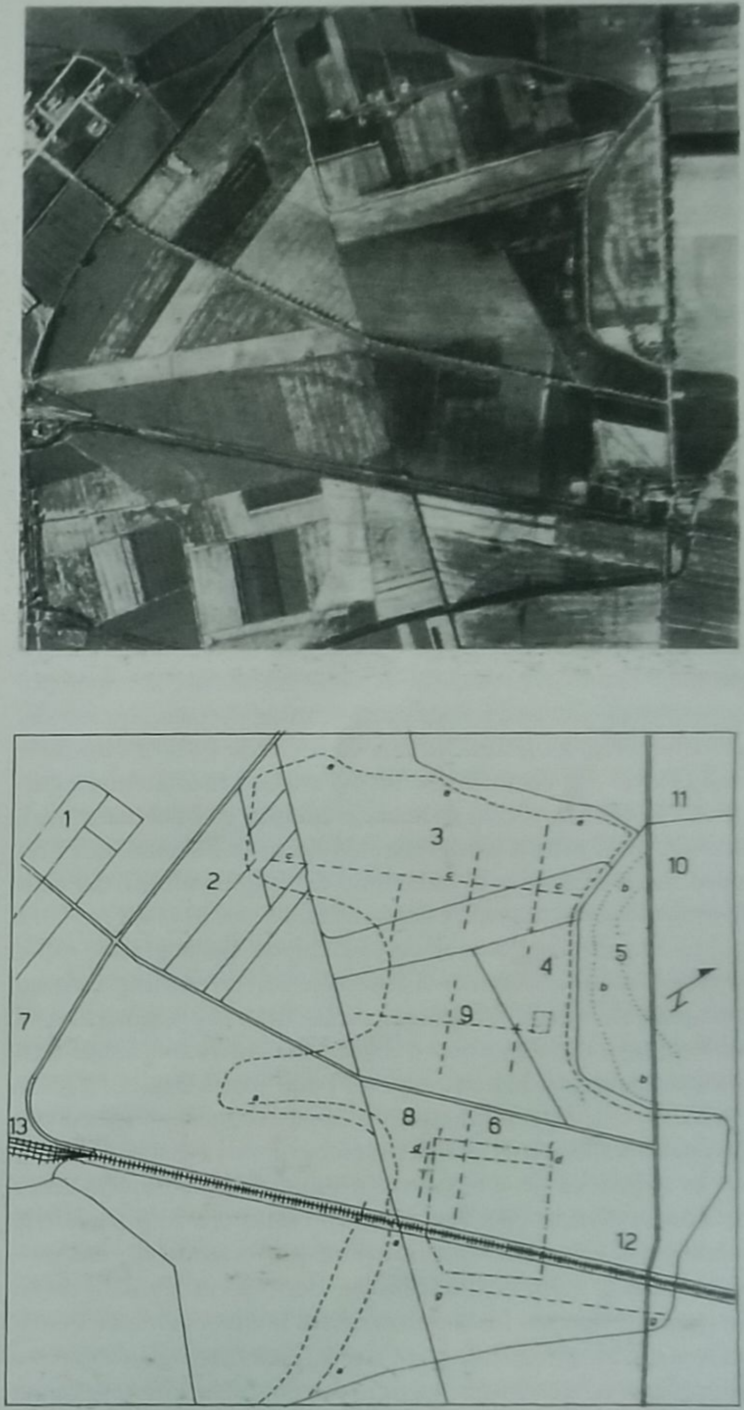


Fig. 8. Metaponto (Matera). Fotografia aerea verticale dell'area archeologica riguardante l'antica città e grafico delle tracce archeologiche (a tratteggio), dedotte interpretando la fotografia aerea. Disegno G. Barbiero.

L'impiego della fotografia aerea nella documentazione archeologica. L'uso della fotografia aerea per l'individuazione di zone archeologiche risale ai primi anni del secolo scorso, ma i primi passi in questo settore furono fatti analizzando fotografie scattate prevalentemente per scopi militari. Da vari decenni, però, i risultati ottenuti e l'uso di fotografie espressamente eseguite per il rilevamento archeologico hanno fatto sì che si sia creata una vera e propria disciplina, a cui si dà il nome di «fotointerpretazione archeologica».

L'analisi di fotografie aeree consente di rilevare particolari anomalie nell'aspetto del terreno spoglio o variazioni nell'altezza o nel colore della vegetazione, che evidenziano particolari tracce indicative di discontinuità del suolo. È noto, infatti, che la presenza nel terreno di antichi manufatti determina una variazione nello sviluppo e nel colore della vegetazione.

Sono da ricordare a questo proposito, a scopo esemplificativo, i significativi risultati ottenuti in Basilicata, nell'individuazione delle strutture archeologiche relative agli interessanti ritrovamenti dell'impianto viario e della zona del *castrum* di Metaponto (fig. 8). Particolarmente utili allo sviluppo della fotointerpretazione si sono dimostrate le coperture aeree («strisciate» di fotogrammi scattate da bassa quota) del nostro paese, eseguite durante la seconda guerra mondiale dalla Royal Air Force. Significativi anche i risultati conseguiti da Giulio Schmiedt: studiando quanto è conservato negli archivi dell'Istituto Geografico Militare di Firenze, egli preparò il materiale per la redazione di cinque volumi, dal titolo *Atlante aerofotografico degli insediamenti umani*[14].

La fotointerpretazione aerea richiede, però, grande esperienza, poiché il riscontro di anomalie del terreno impresse sui fotogrammi non deriva sempre dalla effettiva presenza di resti archeologici nel terrotorio e solo molta cura e una lunga attività con persone alquanto esperte può fornire risultati significativi. Si possono offrire, tuttavia, alcuni suggerimenti utili per un primo tentativo di analisi dei fotogrammi a disposizione[15].

In primo luogo è opportuno munirsi di fotografie aeree riprese in diverse epoche, tenendo conto che le più antiche forniscono, di solito, informazioni più attendibili, dal momento che le tracce sul terreno tendono ad affievolirsi con il passare del tempo. Dal confronto tra le diverse levate («strisciate» di fotogrammi), si possono desumere gli interventi più recenti sul territorio; va ricordato, inoltre, che una stessa struttura archeologica può essere evidenziata in modo vario, quando insiste su appezzamenti coltivati in maniera diversa. È anche utile munirsi di tavolette topografiche di diverse epoche, in particolare di quelle dell'inizio del secolo scorso, che, se confrontate con le successive, possono fornire indicazioni molto utili. Occorre poi precisare che tutti i lavori di fotointerpretazione sono suscettibili di miglioramenti; in particolare, è possibile approfondire l'analisi quando l'osservazione a terra abbia fornito alcuni utili elementi di riscontro.

In sintesi, due diversi tipi di anomalie si possono notare sulle fotografie aeree: a) presenza di manufatti murari negli strati superficiali del terreno; b) presenza di antichi canali o di scavi nel terreno.

Nel primo caso, l'esistenza di strutture murarie superficiali determina spesso una minore crescita della vegetazione

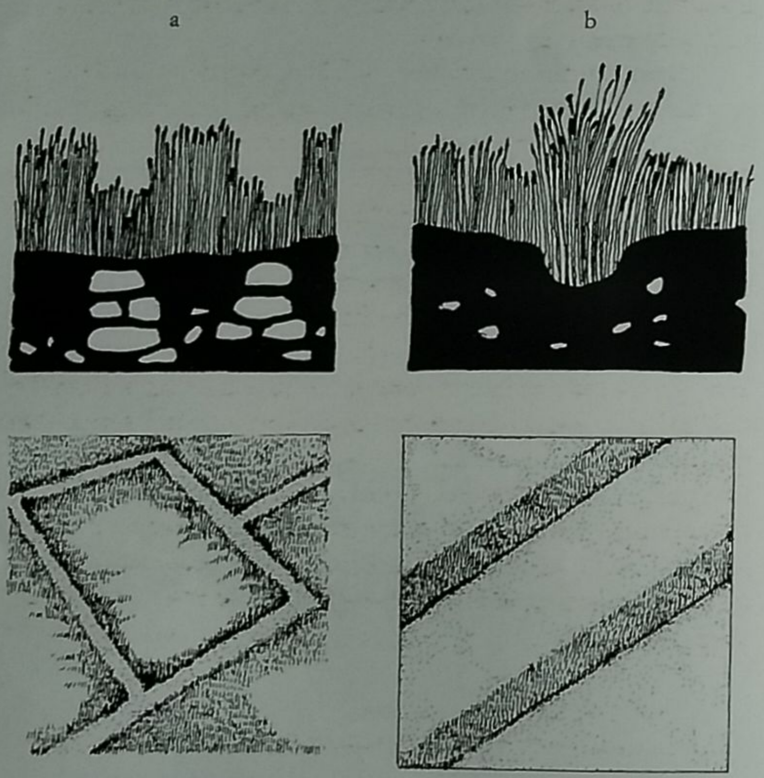


Fig. 9a,b. Grafico esemplificante, in sezione e in vista prospettica, la diversa crescita della vegetazione in riferimento alla presenza di resti sepolti (a) e di avvallamenti dovuti ad antiche sistemazioni del terreno (b).

(ad esempio, nei campi di grano o di altri tipi di seminagioni, quali i prati), con la conseguente evidenziazione di tracce che possono indicare manufatti o sedi stradali (fig. 9a,b). Nel caso di terreni spogli, la presenza di manufatti murari si può manifestare anche attraverso una lieve variazione nella colorazione del suolo. Talora la presenza di resti archeologici può essere evidenziata da piccoli rilievi, in particolare risalto sui fotogrammi per l'effetto dell'ombra.

Quando si tratti di scavi antichi, quali canali, fossati, vecchie sedi stradali in trincea, il terreno di riempimento, per effetto della maggiore umidità, può favorire lo sviluppo della vegetazione, che pertanto in queste zone appare più rigogliosa. La presenza di strutture murarie può anche essere rivelata in particolari circostanze, come in occasione di piogge o di neve: dopo alcune ore dalla caduta della pioggia, infatti, soprattutto se vi è anche vento, le parti del terreno non interessate da riempimenti si asciugano più rapidamente, presentando in fotografia un colore più chiaro rispetto alle zone in cui il terreno è più umido.

Alcune presenze antiche, quali i limiti delle centuriazioni, strade ecc. possono essere notate, benché con maggiore difficoltà, osservando il permanere di strutture che delimitano le proprietà (fossi, muretti ecc.).

Occorre anche ricordare che alcuni di questi indizi sono visibili solo in certe stagioni e per brevi periodi: da ciò emerge la necessità di avere a disposizione i risultati di coperture aeree effettuate in diverse condizioni.

È necessario, ai fini di una buona lettura dei fotogrammi, che questi ultimi siano in una scala variabile tra 1:10.000 e 1:20.000, in modo che le strutture presenti nel sottosuolo possano essere individuate. Per quanto concerne il materiale fotografico, le pellicole da utilizzare per le riprese aeree finalizzate alla fotointerpretazione sono generalmente del tipo *pancromatico*, in bianco e nero; quando sia utile, però, rilevare le variazioni cromatiche, possono anche essere adoperate pellicole a colori.

Il rilevamento indiretto, fotogrammetrico e con il laser scanner

La fotogrammetria risulta particolarmente utile in quei tipi di rilevamento archeologico in cui sia necessario ottenere un rilevamento dei manufatti di elevata precisione: appunto per questo negli ultimi anni sono stati eseguiti numerosi interventi impiegando tale metodologia.

Le applicazioni della tecnica fotogrammetrica al rilevamento archeologico non si discostano dai metodi illustrati per il rilevamento architettonico; tuttavia le specifiche esigenze del settore in esame richiedono speciali accorgimenti: nel caso che si debbano documentare scavi di grande estensione, il ricorso alla fotogrammetria aerea risulta estremamente efficace; in particolare, quando servano rilevamenti d'insieme, è indispensabile procedere a riprese dall'alto, ma dovendo scegliere scale di rappresentazione molto grandi (1:200 o 1:100), è necessario che il punto di presa non sia troppo distante dal suolo; più che di aerofotogrammetria conviene allora parlare di «fotogrammetria dei vicini», eseguita da un mezzo di sostegno che permetta di riprendere lo scavo da altezze comprese fra 30 e 100 metri, quote che possono essere raggiunte o mediante elicotteri oppure con particolari gru, munite di un cestello, in cui la camera può essere posizionata con il suo asse verticalmente diretto verso il basso. Solo quando si debbano eseguire planimetrie a scale 1:500 o 1:1000 si può ricorrere alle tradizionali riprese aeree, eseguite secondo i criteri già illustrati nel cap. VI (cfr. fig. 10a,b). Le riprese aeree e le restituzioni in scale 1:100 o 1:200 debbono seguire i criteri già illustrati per il rilevamento fotogrammetrico architettonico e anche in questo caso occorre predisporre un progetto di rilevamento che assicuri un'adeguata copertura e individui i punti di riferimento da rilevare con i mezzi topografici.

Allorquando il rilevamento archeologico debba dare conto dello stato delle superfici del manufatto, esso viene eseguito a scala molto grande (1:50 e 1:20): occorre allora che la camera, se non munita di teleobiettivo, sia disposta a distanze non superiori a 20 m, nel primo caso, e a 10 m nel secondo (cfr. figg. 11, 12, 13, 14). La fotogrammetria può essere impiegata anche per documentare le fasi di scavo e le stratigrafie; le restituzioni devono allora essere eseguite a grandissima scala (1:10 o 1:5) e le riprese vanno fatte a corta distanza (5 ÷ 2,5 m). La necessità di operare durante le fasi di scavo e quindi il poco tempo a disposizione consigliano l'uso di bicamere, più facilmente posizionabili (cfr. fig. 13).

Anche negli scavi archeologici subacquei si dimostra uti-

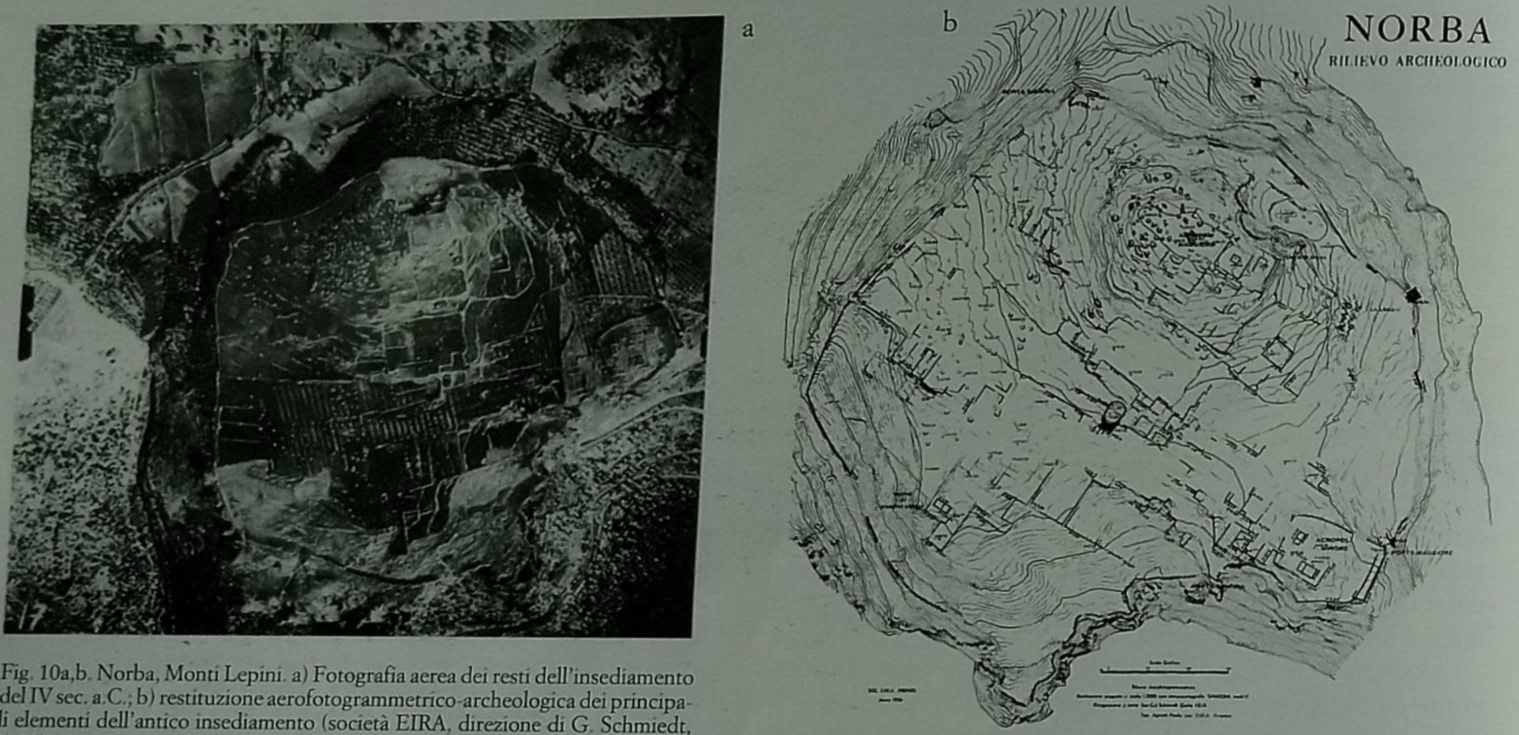


Fig. 10a,b. Norba, Monti Lepini. a) Fotografia aerea dei resti dell'insediamento del IV sec. a.C.; b) restituzione aerofotogrammetrico-archeologica dei principali elementi dell'antico insediamento (società EIRA, direzione di G. Schmiedt, 1956).

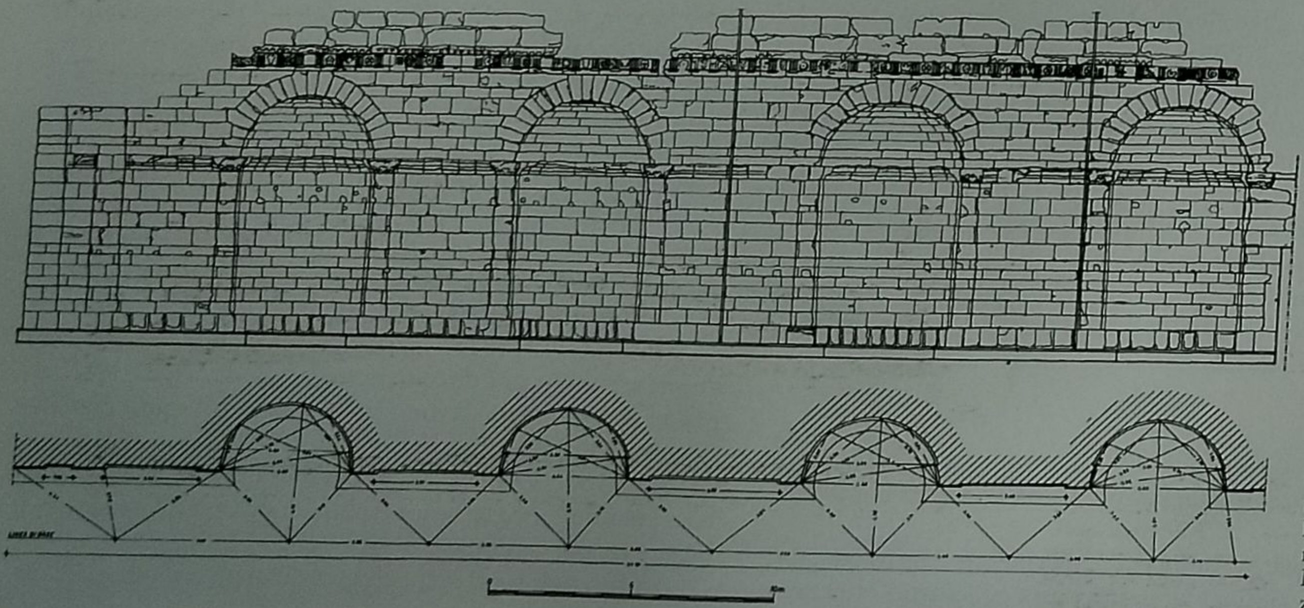


Fig. 11. Todi, i cosiddetti nicchioni. Restituzione grafica del rilevamento fotogrammetrico. Rilevamento Marina Docci, Fabrizio Toppetti.

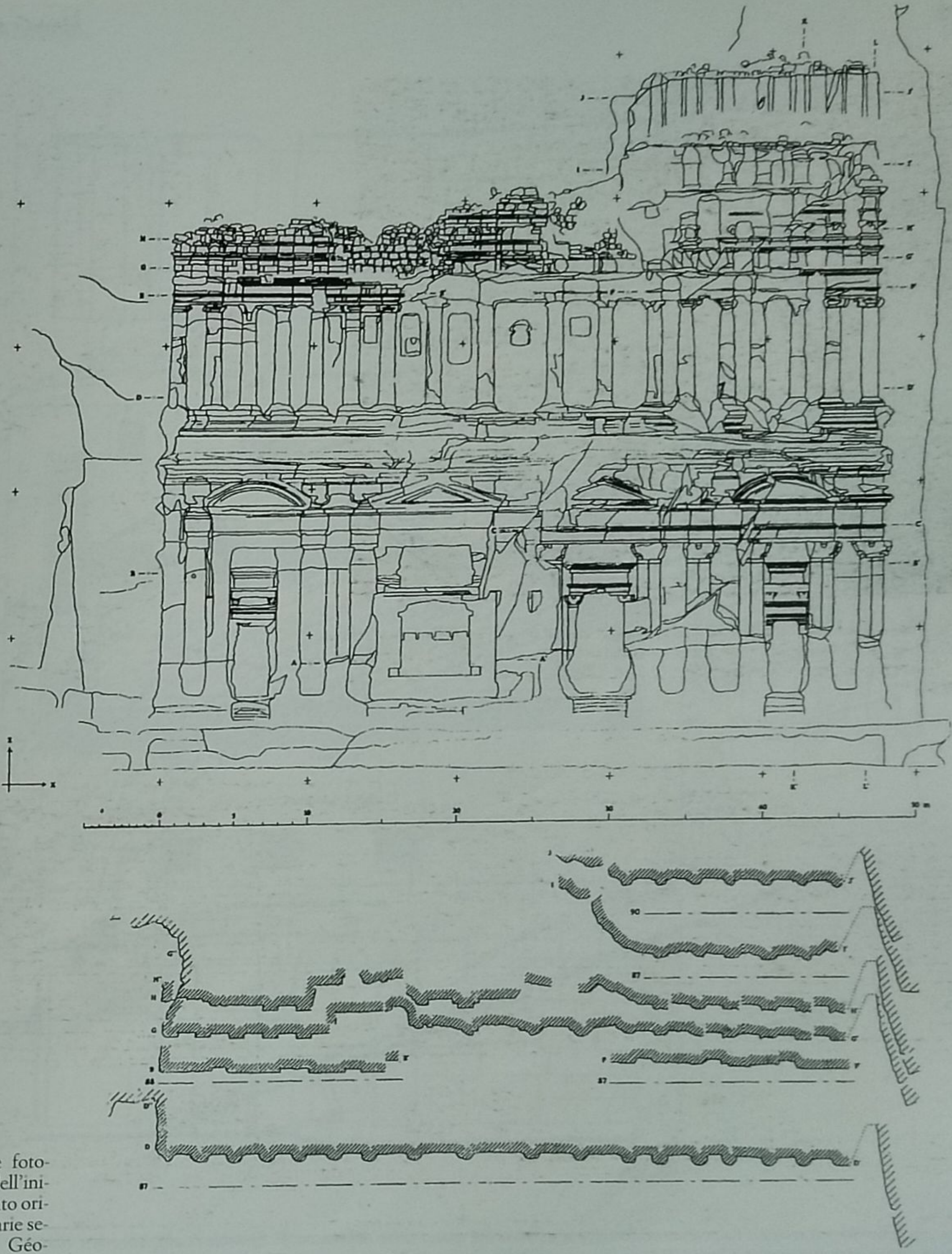


Fig. 12. Petra (Giordania). Restituzione fotogrammetrica della facciata di una tomba, dell'inizio dell'era cristiana, a più piani. Rilevamento originale redatto in scala 1:100. Prospetto e varie sezioni orizzontali dello stesso («Institut Géographique National de France» per l'UNESCO).

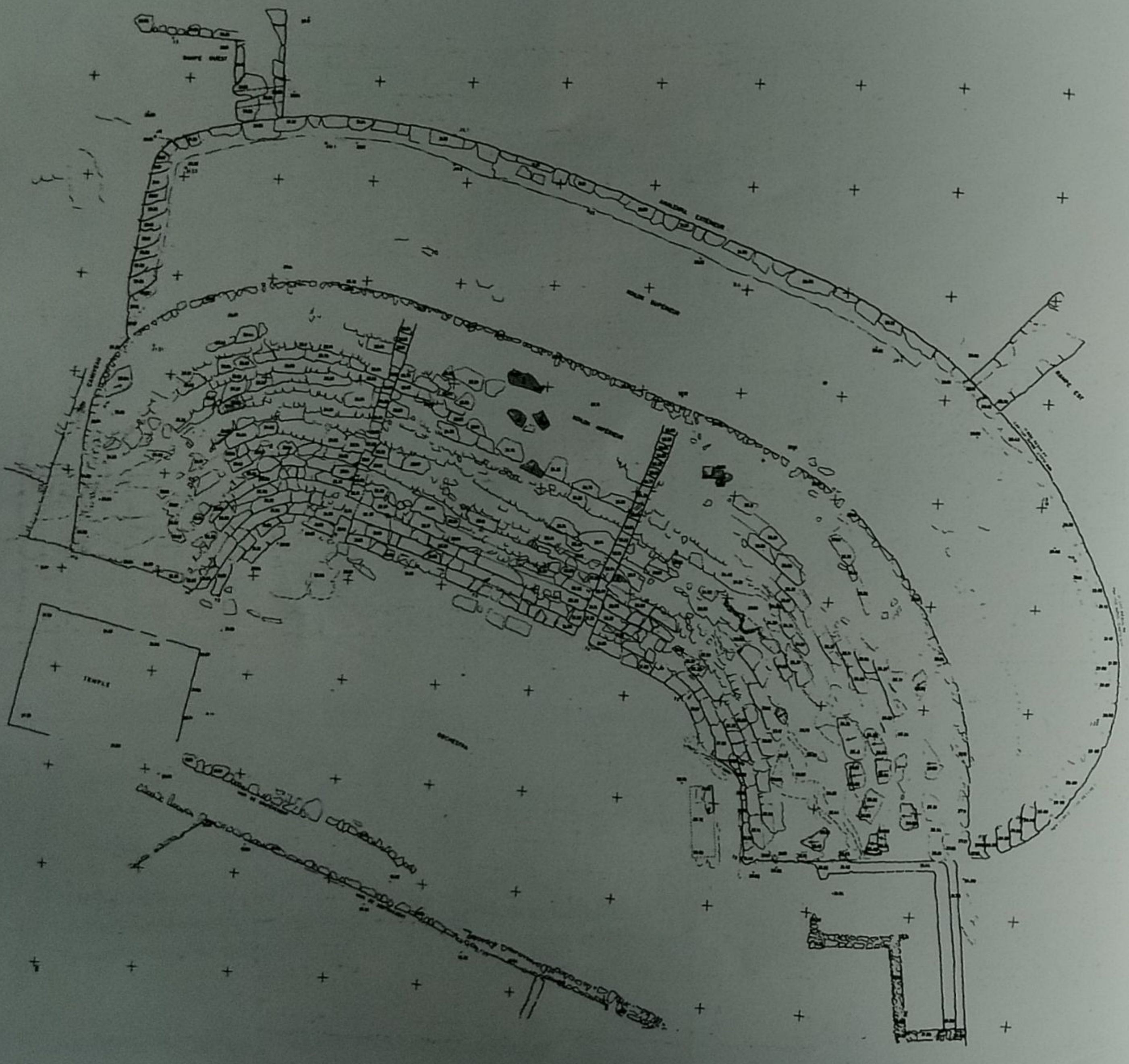


Fig. 13. Thorikos (Grecia). Rilevamento fotogrammetrico del piano terra del teatro (P. Spitaels *et alii*, *Thorikos 1970-71: rapport preliminaire sur les septieme et huitieme campagnes de fouilles*, Gent 1978, pl. 2).

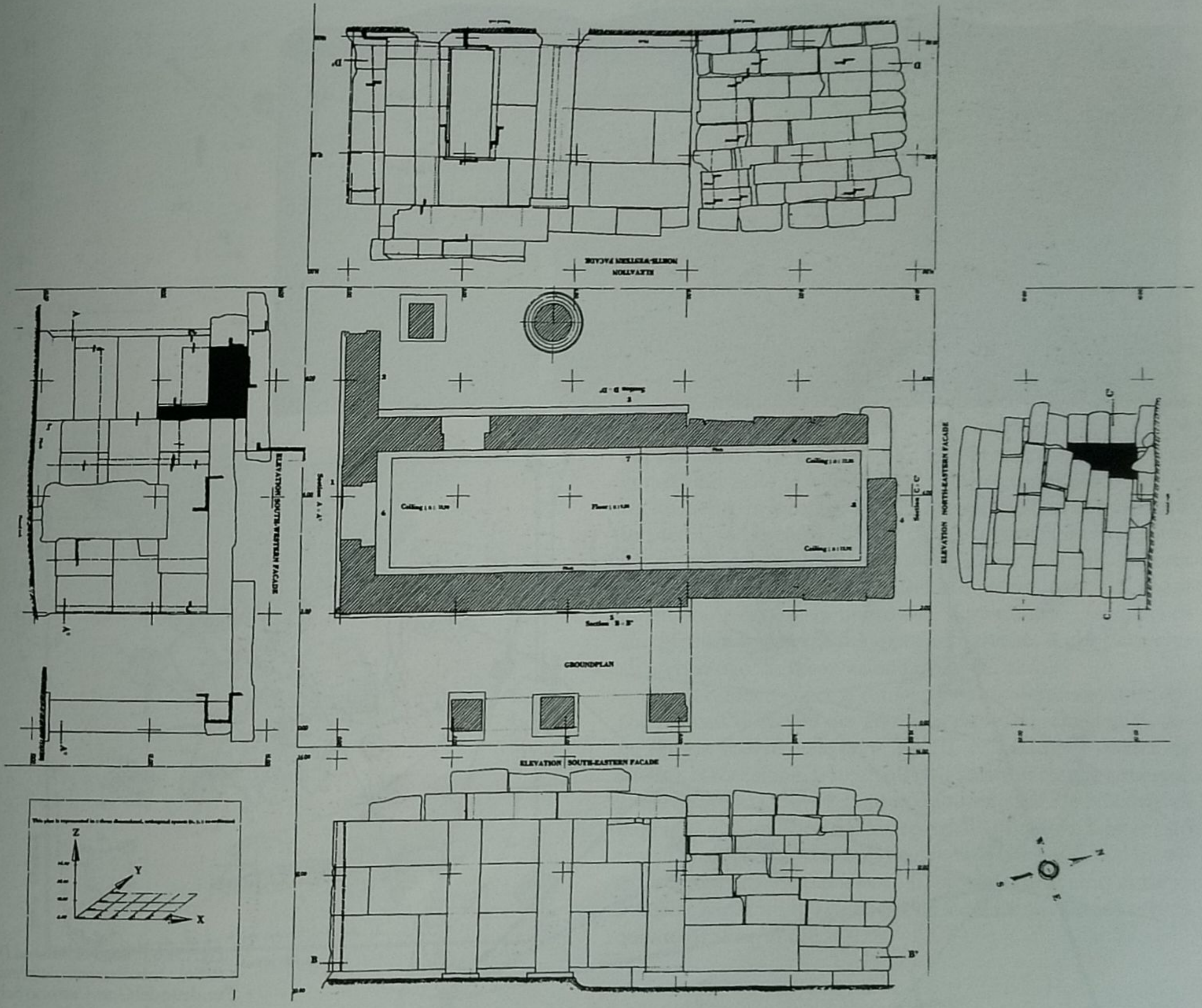
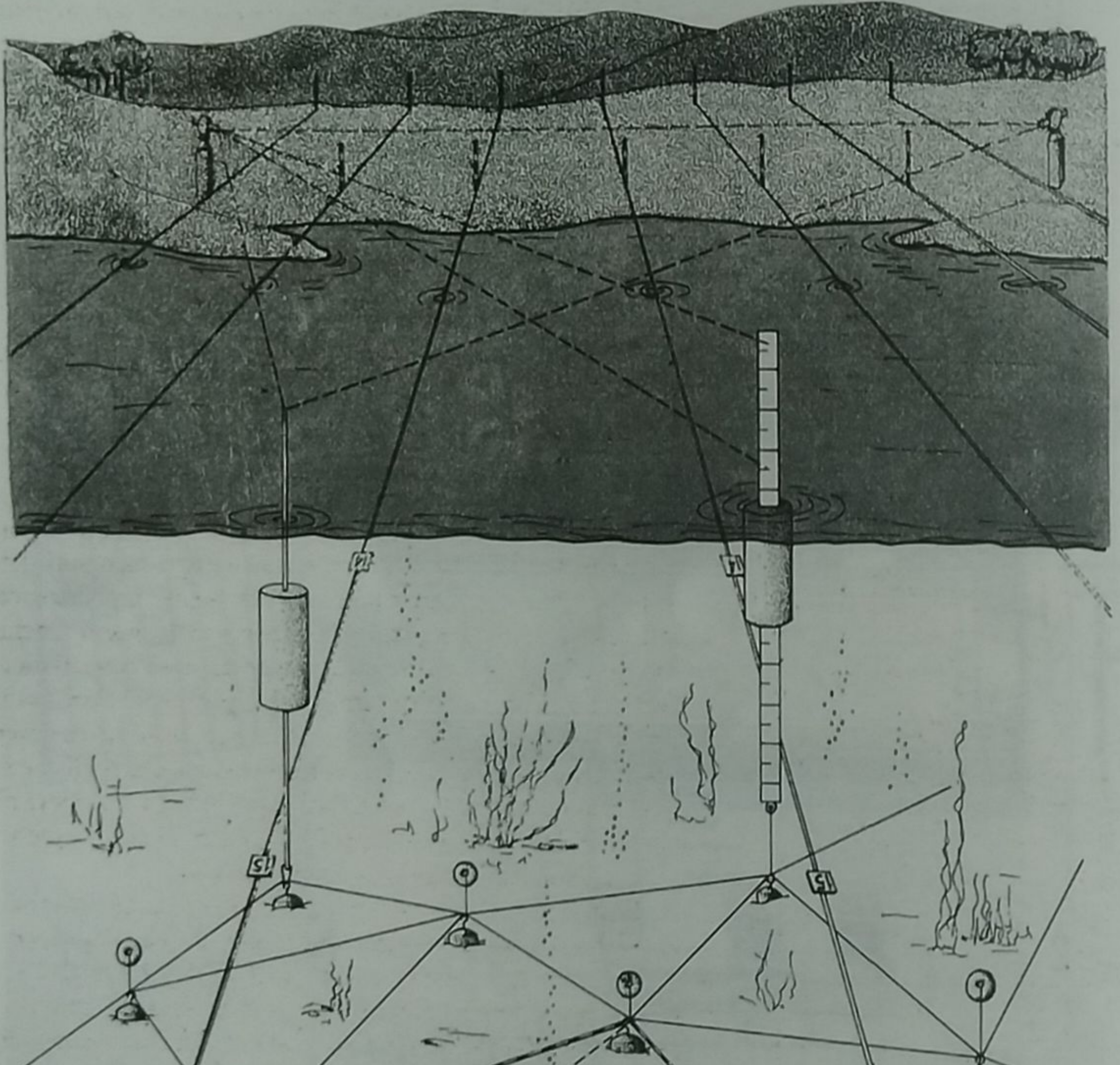
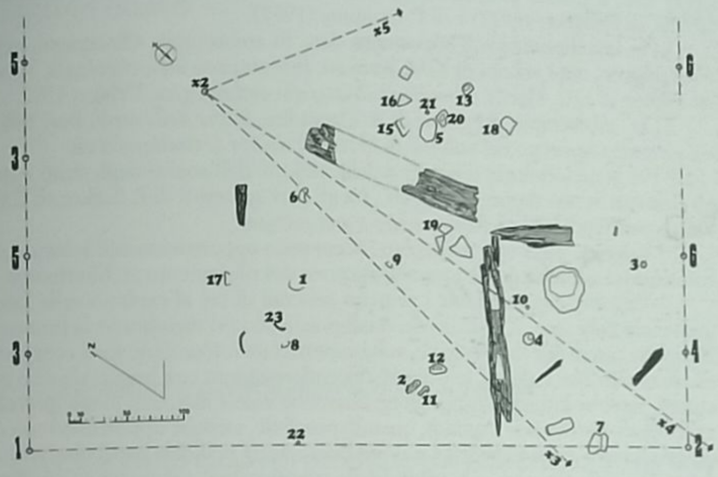


Fig. 14. Sempra (Sudan). Rilevamento del piano terra e dei prospetti esterni del tempio di Dédoun e Sésostris III (ministero dei Lavori Pubblici del Belgio).

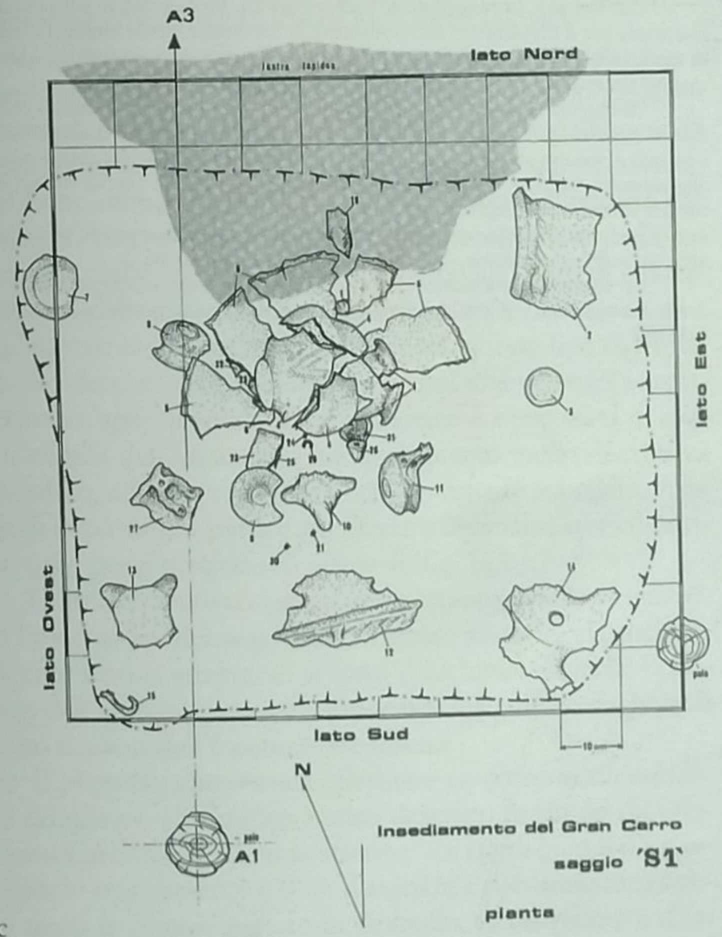


a

Fig. 15a,b,c. Lago di Bolsena (Viterbo). Insediamento, sommerso, detto del Gran Carro. a) Schema di rilevamento del fondale interessato dai resti archeologici e collegamento alla rete catastale; b) restituzione grafica da fotomosaico; c) rilevamento dei resti del saggio S.1.



b



c

le l'impiego del rilevamento fotogrammetrico, tenuto conto della rapidità con cui possono essere eseguite le operazioni di ripresa fotografica. Va tuttavia precisato che questo tipo di applicazione non si è molto diffuso, perché le particolari condizioni di ripresa impongono accorgimenti onerosi, sia per garantire l'impermeabilità della macchina, sia per correggere, in fase di restituzione, la distorsione che i raggi luminosi subiscono nel passaggio dall'aria all'acqua (cfr. fig. 15a,b,c,).

L'avvento del laser scanner 3D ha evidenziato le potenzialità di questo strumento nel settore archeologico, non solo per l'elevata precisione, ma anche per la rapidità di presa, che si dimostra particolarmente utile durante le operazioni di scavo, al fine di realizzare una accurata stratigrafia. Infatti, le riprese delle singole giornate di lavoro potranno essere montate in formato trasparente in modo da fornire una stratigrafia completa dell'area di scavo. Ma i vantaggi maggiori dell'applicazione del laser scanner al rilevamento archeologico consistono nella possibilità di acquisire molti punti, anche molto vicini tra loro, fissando la maglia di presa con lati molto piccoli, ad esempio di mm 3 x 3 o poco superiori, ottenendo così delle nubi di punti molto dense, in grado di poter essere elaborate più volte a seconda delle informazioni che si intendono ricavare. In questi casi si possono avere rilievi di alta precisione con qualità quasi fotografica, il che permette all'archeologo un'osservazione quasi dal vero.

Il rilevamento laser si dimostra particolarmente utile anche nei casi di studio dei grandi complessi archeologici, come si può vedere nelle tavv. V-VIII, X-XIII nelle quali è riportata la scansione del teatro e dell'anfiteatro della città spagnola di Mérida, dove è stato possibile studiare le relazioni di impianto planimetrico del teatro e dell'anfiteatro. Il laser può essere impiegato anche nel rilevamento per verificare lo stato di conservazione dei materiali, utilizzando i valori della riflettanza registrati in fase di presa; a questo proposito si veda quanto esposto al cap. IX.

Note

[1] Si definisce «scavo», l'operazione che si compie quando occorre riportare alla luce eventuali strutture o materiali sepolti. Essa consiste in una serie di azioni, che vanno dall'asportazione dei vari strati di terreno al rinvenimento degli oggetti e che sono caratterizzate da connotazioni particolari in relazione a vari fattori (periodo storico, tipo di terreno e di sedimentazione, contesto ambientale, fattori contingenti ecc.). Normalmente lo scavo è preceduto da operazioni preliminari e prospezioni, che vanno dalle ricognizioni di superficie all'esame della fotografia aerea, fino all'uso di metodi sofisticati, basati sulla conduttività elettrica, sull'analisi chimica del terreno, sull'elettromagnetismo ecc.

[2] Il grigliato di base, normalmente a maglie quadrate, secondo il metodo di scavo messo a punto da Laplace e Meroc, varia nella dimensione del lato del quadrato, in relazione al sito e alle sue valenze archeologiche; di norma, quanto più lo scavo interessa un periodo antico, tanto più diminuisce il lato delle singole maglie; così, mentre per zone archeologiche del periodo romano possono bastare maglie di 5, 10, 15 ml di lato, per quelle preistoriche il quadrato di base scende a ml 1 di lato, e spesso questa rete primaria di quadrati viene suddivisa, ove occorra un posizionamento più accurato dei reperti, in sottomultipli, che arrivano fino ad un lato di 0,33 ml.

[3] Il disegno resta fattore imprescindibile e insostituibile per tutti i motivi già espressi nell'Introduzione e nei vari capitoli del testo, motivi che possono essere riassunti dicendo che esso è, rispetto alla realtà e nello stesso tempo, selezione di dati, possibilità di discretizzazione, semplificazione e convenzione, pur nella soggettività del disegnatore. Il disegno, per la documentazione archeologica, ha acquistato caratteristiche proprie, pur non variando i concetti basilari ad esso pertinenti, già esplicitati. Resta, comunque, il fatto che anche tale tipo di disegno non può essere pienamente compreso ed effettuato, senza la conoscenza dei metodi di rappresentazione architettonica.

[4] Cfr. i diagrammi stratigrafici di Harris.

[5] Si pensi, ad esempio, al rilevamento di chiese ipogee, di grotte, di tombe, per le quali è necessario collegare gli ambienti sotterranei con alcuni punti esterni, onde pervenire al loro corretto posizionamento. Spesso, la stessa forma irregolare di tali strutture porta ad impiegare più metodi di rilevamento, anche in un solo ambiente.

[6] Cfr., a questo proposito, gli scritti di M. Biddle e B. Kjölbye-Biddle (1975), di P. Barker (1977) e di P. Crummy (1977).

[7] Per una disamina sull'importanza data, in archeologia, alle sezioni, oggi e nel passato, cfr. i volumi di K.M. Kenyon, *Introduzione all'archeologia*, Verona 1966; e di E.C. Harris, *Principi di stratigrafia archeologica*, Urbino 1992.

[8] Cfr., ad esempio, il volume di A. Carandini, *Storie dalla terra*, Bari 1981; e il glossario riportato nel volume di Harris, *Principi di stratigrafia* cit.

[9] Per la metodologia d'impiego delle sezioni, dell'analisi degli strati e degli elementi in esse rappresentati, cfr., tra gli altri, gli scritti di P. Barker, di E.C. Harris ecc. (vedi bibl., § *Rilevamento e archeologia*).

[10] Valgono, salvo casi particolari, in cui sono opportunamente adattate, le convenzioni adottate per la rappresentazione del rilevamento architettonico.

[11] Valgono, naturalmente, i princìpi generali di cui al capitolo sulla fotografia (cfr. *infra*, cap. X), alcuni dei quali possiamo così riassumere: la luce non dovrebbe essere tale da produrre, sulle superfici da fotografare, forti contrasti; una luce diffusa o radente, se occorre riprendere oggetti con leggeri rilievi o incisioni, sarebbe l'ideale; l'esposizione dovrebbe essere alquanto lunga (piccola apertura di diaframma) e quindi, quando possibile, sarebbe opportuno l'uso di un cavalletto o di un treppiede; si dovrebbero usare pellicole particolari e filtri per evidenziare parti poco leggibili (nelle stratificazioni, ad esempio) ed effettuare le riprese, nelle stesse condizioni e dagli stessi punti di vista, con pellicole in bianco e nero e a colori ecc.

[12] Cfr. Kenyon, *Introduzione all'archeologia* cit. Va comunque sottolineato che, come per il rilevamento architettonico, la fotografia, quale memoria visiva di ausilio alla definizione di determinati particolari o oggetti, è tanto più valida quanto più essa è utilizzata temporalmente vicino al periodo di ripresa.

[13] Anche nel rilevamento archeologico la fotografia, pur vantando molti aspetti positivi (precisione, totalità dei dati raffigurati in un'immagine ecc.), non può sostituire un buon grafico, che consente di sottoporre a un continuo allenamento analitico il rilevatore o l'archeologo, di affinare i modi di rappresentare le cose e di recepire meglio determinate informazioni.

[14] Le fotointerpretazioni dello Schmiedt passano in rassegna le principali aree archeologiche italiane, dall'antichità fino ai giorni nostri.

[15] Per maggiori informazioni sullo sviluppo dell'aerofotointerpretazione si rinvia al saggio di G. Alvisi, *La fotografia aerea nell'indagine archeologica*, Roma 1989.

Capitolo ottavo

Metodologie di rilevamento per il restauro

Le problematiche del rilevamento per il restauro

Si è già avuto modo di precisare che il rilevamento ha una sua autonomia disciplinare, indipendentemente dalla sua specifica finalità operativa; tuttavia le singole applicazioni possono richiedere particolari tagli metodologici.

Il rilevamento finalizzato al restauro architettonico e a quello urbano non fa eccezione alla regola, che impone la necessità di una cognizione specifica della fisicità dell'opera da restaurare: le operazioni di rilevamento, in questo settore, debbono dunque portare a una conoscenza dell'edificio che abbracci tutti gli aspetti, da quelli dimensionali a quelli costruttivi, dalle trasformazioni nel tempo allo stato di conservazione, dalle sue condizioni statiche al proporzionamento e agli aspetti metrologici. In altre parole, questo tipo di rilevamento deve analizzare l'opera nei suoi diversi aspetti architettonici, spaziali e materiali, per arrivare a una sorta di analisi clinica dell'organismo edilizio, quanto meno distruttiva possibile, adatta a metterne in risalto tutte le anomalie, dalle quali si potrà poi partire per avviare un'analisi storico-critica, utile per il progetto di restauro (fig. 1a,b).

Un rilevamento così condotto, pertanto, orienterà non solo l'esecuzione dei saggi sulle strutture murarie, ma anche la ricerca storica attraverso le fonti d'archivio, cosicché l'operare dell'architetto non sia dispersivo, ma guidato dagli studi e dai risultati dell'osservazione diretta.

Il percorso che porta a effettuare un corretto rilevamento finalizzato al restauro è stato descritto in sintesi da Giovanni Carbonara[1], quando afferma: «Si tratta quindi d'un intendere storicamente e d'un disegnare e rilevare criticamente tanto in grande quanto in dettaglio, di un vedere e d'un rappresentare in profondità (alla ricerca di quegli elementi *intrinseci* dell'analisi storica e di uno studio tecnico, menzionati da Guglielmo De Angelis D'Ossat e da Piero Sanpaolesi)[2], condotti in primo luogo con l'ausilio di un'attenta ispezione e d'una frequentazione assidua e personale dell'opera. D'una anticipazione d'analisi storica e diagnostica attuata a vista ed al *tatto*, con mezzi relativamente semplici ma con sensibilità ed esperienza, la quale ricorda, chiamando in causa il consueto confronto della medicina col restauro, la buona pratica del dottore di famiglia o del vecchio medico condotto. Proprio sul significato pre-diagnostico dell'attenta osservazione e del disegno di rilievo analitico dei monumenti, si è soffermato ripetutamente Paolo Fancelli[3] che più di altri ha approfondito l'argomento».

Da quanto fin qui detto, si evince dunque che il rilevamento per il restauro si caratterizza per una maggiore attenzione alla lettura dello stato di conservazione della fabbrica (fig. 2); di conseguenza, pur dovendo all'occorrenza saper utilizzare tutte le metodologie fin qui illustrate, occorre, in questo caso specifico, prestare particolare attenzione ai caratteri fisici e architettonici dell'opera, alla precisione delle misure e alla restituzione grafica finale. Si noterà anche come, per evidenziare taluni aspetti inerenti la fabbrica, quali appunto lo stato di conservazione, il quadro fessurativo, la cronologia delle strutture ecc., sia necessario elaborare particolari rappresentazioni grafiche a carattere tematico.

Rilevamento del rapporto tra opera da studiare e contesto. L'opera rilevata insieme al suo intorno urbano va inserita nella cartografia territoriale, utilizzando eventualmente la Carta tecnica regionale, scala 1:10.000. La rappresentazione planimetrica, in particolare, dovrebbe impiegare due diverse sca-

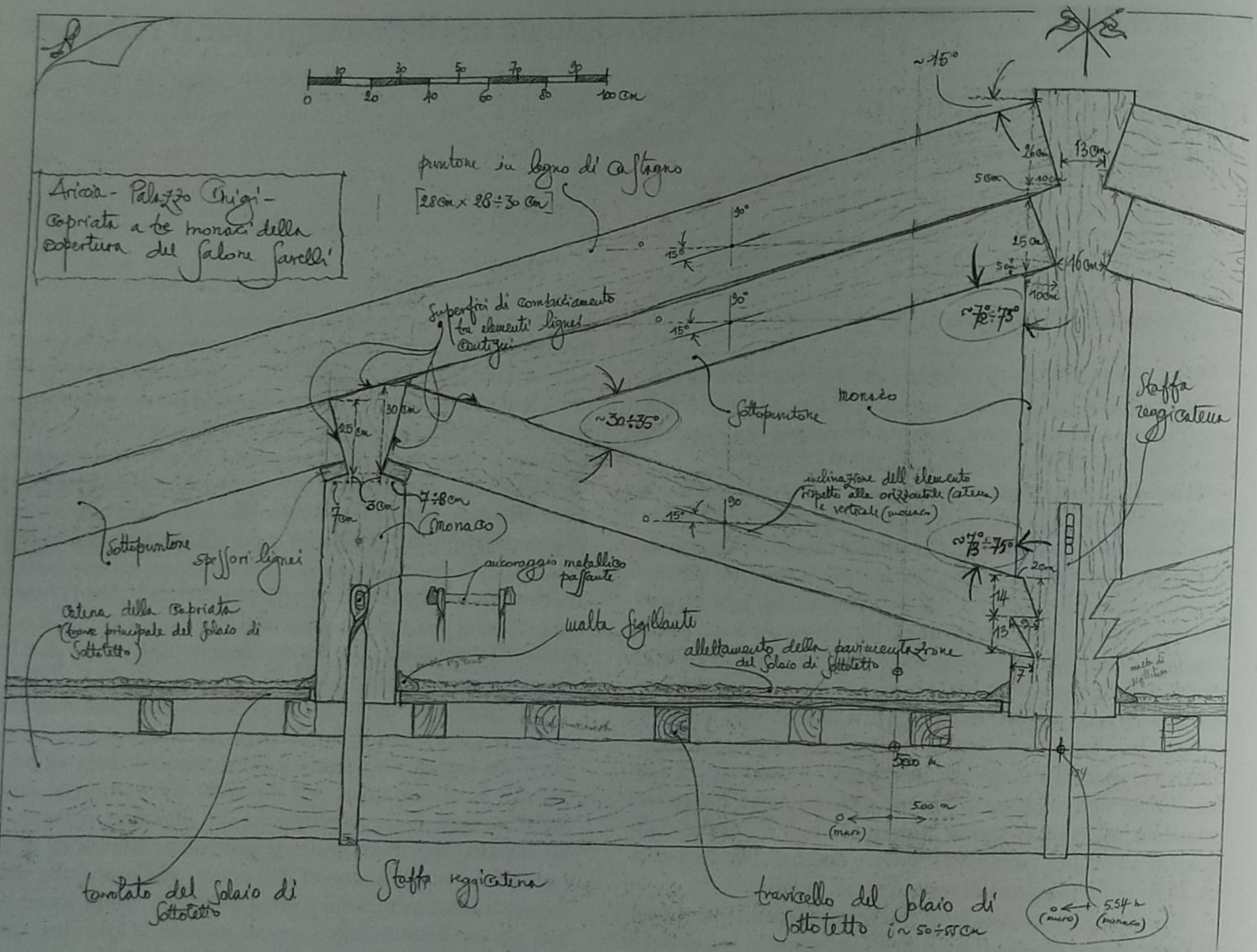
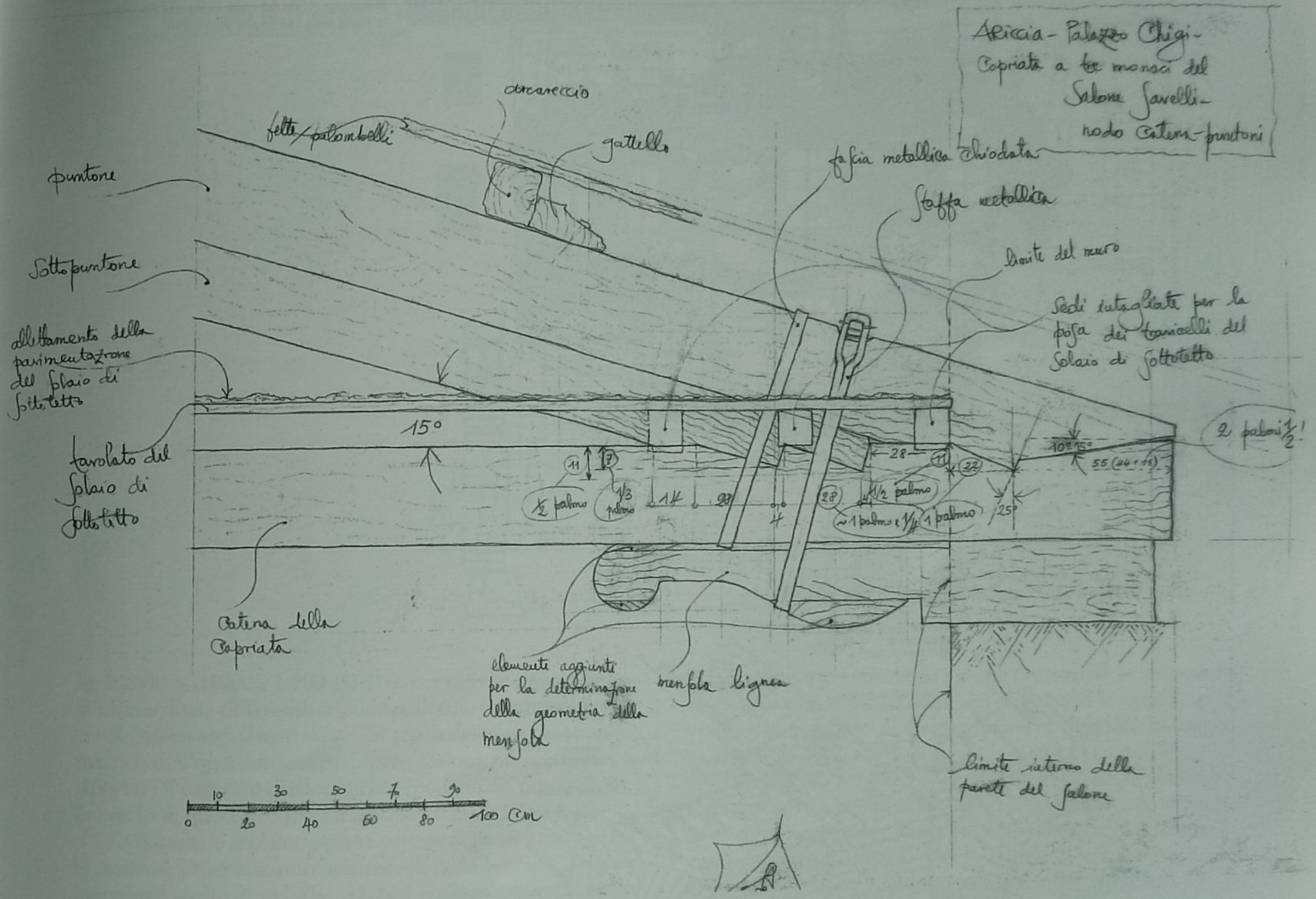
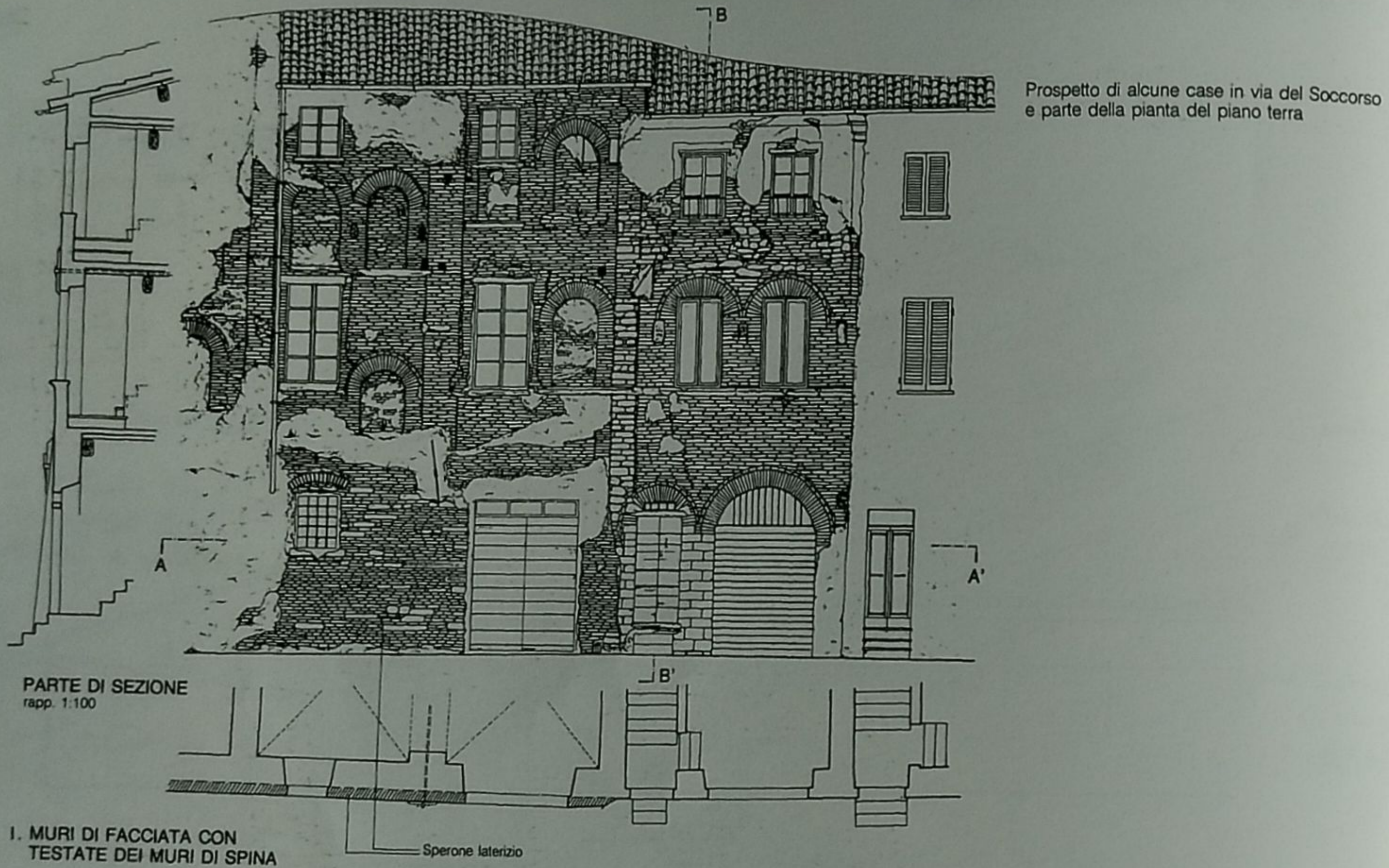


Fig. 1a,b. Ariccia (Roma), Palazzo Chigi. Capriata a tre monaci della copertura del salone Savelli. Rilevamento A. Pugliano.


Ariccia - Palazzo Chigi -
Capriata a tre monaci del
Salone Savelli -
nodo catena-puntoni
arcareccio
gattello
puntone
Sottopuntone
allettamento della pavimentazione del solaio di sottotetto
tavolato del solaio di sottotetto
fascia metallica chiodata
staffa metallica
limite del muro
Sedi intagliate per la posa dei travicelli del solaio di sottotetto
2 palmi 1/2!
15°
25°
1/2 palmo
1/3 palmo
~1 palmo e 1/4
1 palmo
28
catena della capriata
elementi aggiunti per la determinazione della geometria della mensola
mensola lignea
limite interno della parete del salone
100 cm



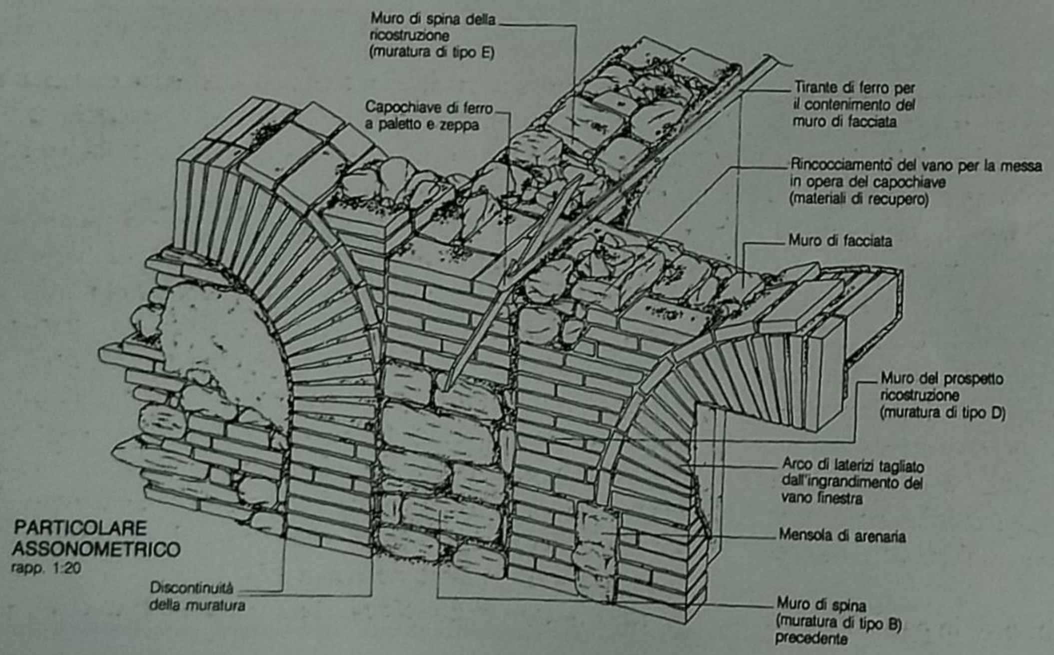
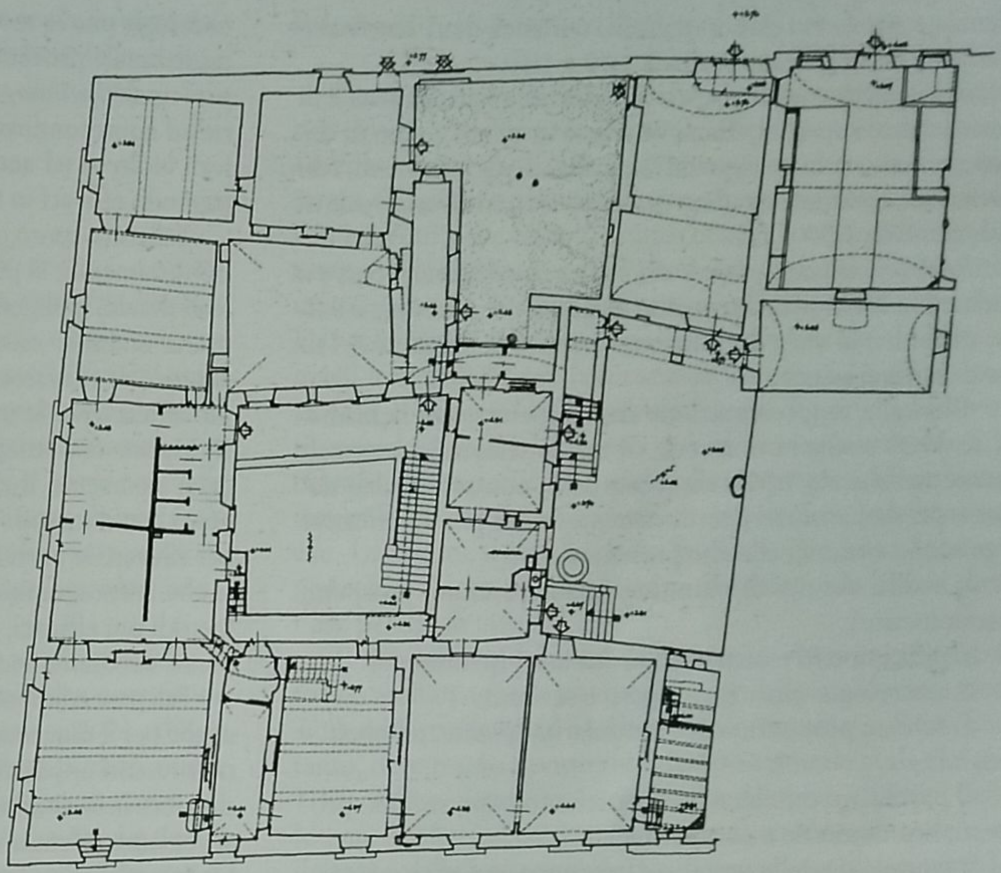


Fig. 2. Città di Castello (Perugia), case in via del Soccorso. Prospetto dei muri di facciata (con particolari della sezione e della pianta), e dettaglio costruttivo. Rilevamento R. Argalia. Cfr. F. Giovannetti (a cura di), *Manuale del recupero del Comune di Città di Castello*, Roma 1992.

Fig. 3. L'Aquila, Palazzo Branconio. Pianta del piano terra. Rilevamento M. Centofanti, V. De Masi, L. Zordan, con la collaborazione di V. Giusti.



le: 1:2000 ÷ 1:1000 e 1:500 ÷ 1:200; per quanto riguarda quest'ultima, l'uso delle ombre può facilitarne la lettura.

Rilevamento dimensionale. Si tratta del rilevamento geometrico dell'opera attraverso piante, sezioni, prospetti, su cui riportare il progetto di rilevamento (poligonale, capisaldi, trilaterazioni, quote ecc.), utilizzando le scale 1:100 o 1:50.

Rilevamento architettonico. Consiste nella stesura di piante, sezioni, prospetti, normalmente in scala 1:50 o 1:100, per complessi molto grandi (fig. 3). Nei grafici vanno evidenziate tutte quelle strutture che rivestono particolare importanza, come le volte, le coperture, i pavimenti, gli arredi fissi ecc.

Rilevamento dei particolari costruttivi e decorativi. Riguarda gli ordini architettonici, i dettagli tecnico-costruttivi, gli oggetti di recupero inseriti nella costruzione ecc., con raffigurazioni in scala da 1:20 a 1:1.

Rilevamento delle murature. Si riferisce in particolare alle apparecchiature murarie, ai moduli costruttivi, ai materiali e alla loro finitura, alle stilature dei giunti, agli intonaci e ai rivestimenti, con l'uso di scale variabili, in relazione al soggetto, da 1:20 a 1:1.

Rilevamento del quadro fessurativo. Si avvale di piante, sezioni, prospetti, anche in diretto collegamento con le piante ed eventuali rappresentazioni assonometriche, per fornire la visione spaziale dell'andamento delle lesioni. I rilevamenti devono evidenziare le fenditure, le microfessurazioni, le deformazioni murarie con eventuale inflessione dei paramenti, mostrando se siano concordi o discordi. Quanto alle fessurazioni, se ne dovranno evidenziare la giacitura, l'andamento, i punti di flesso e di depressione, l'andamento dei bordi ecc. Per la rappresentazione del quadro fessurativo, si utilizzano scale variabili da 1:50 a 1:10.

Rilevamento dell'umidità. Tale caratteristica viene evi-

denziata attraverso elaborati grafici tematici, detti *Tavole dell'acqua*, che impiegano scale da 1:50 a 1:10.

Rilevamento del degrado dei materiali, degli intonaci e di tutte le altre superfici, di cui va messo in rilievo il tipo di deterioramento subìto: depositi superficiali, rigonfiamenti, fessurazioni, alveolazione, disgregazione ecc., attraverso scale di riduzione da 1:50 ÷ 1:5.

Rilevamento del colore e delle altre parti figurate. Serve a mettere in luce anche la tonalità, la grana del materiale e il tipo di colore; la scala di riduzione va scelta in funzione del tipo di raffigurazione.

Oltre alla rappresentazione degli aspetti sopra richiamati, si dovrà redigere una serie di tavole tematiche (normalmente nella scala 1:50), che costituisca una prima elaborazione dei dati analitici del rilevamento; tra le più significative si possono citare quelle che presentano:

a) analisi dei tipi di murature (piante, sezioni, prospetti, assonometrie);

b) allineamenti e ortogonalità dei muri (piante);

c) metrologia (piante, prospetti e sezioni);

d) schemi proporzionali e modularità (piante, prospetti e sezioni);

e) correzioni ottiche e prospettiche (piante, sezioni, prospetti, assonometrie e prospettive);

f) cronologia delle murature (piante, prospetti e sezioni);

g) fasi costruttive dell'edificio (piante, prospetti, sezioni ed assonometrie);

Si può dunque concludere che le problematiche inerenti il rilevamento finalizzato al restauro portano soprattutto a evidenziare la necessità di acquisire la maggior quantità di informazioni possibili, che debbono integrarsi tra loro. Ne consegue, ovviamente, che tutte le operazioni di studio e misurazione vanno eseguite con la massima cura e precisione e che la restituzione grafica deve mettere in luce i caratteri, le qualità dell'opera e tutte le singolarità della stessa, con chiarezza e sinteticità.

La scelta del metodo di rilevamento

Perché il rilevamento finalizzato al restauro possa essere effettuato ai massimi livelli, deve poter utilizzare tutte le metodologie che la moderna tecnica mette a disposizione. Se il tradizionale procedimento diretto costituisce sempre quello principale, per eseguire gran parte delle operazioni necessarie ad approfondire la conoscenza dell'opera, molti altri metodi indiretti ed anche metodi informatici si dimostrano oltremodo efficaci in tutte le fasi operative.

Tenendo conto delle esigenze di precisione di questo tipo di rilevamento, si può affermare che le reti di inquadramento generale, (poligonali, allineamenti, punti di controllo ecc.), vanno stabilite mediante l'impiego dei procedimenti strumentali. Il rilevamento diretto si dimostra ancora il mezzo più efficace per le sezioni, le piante, i prospetti e i dettagli, se si dispone di ponteggi per accedere ai vari livelli del fabbricato; altrimenti, il rilevamento dei prospetti può essere eseguito con il metodo diretto, integrato da quello strumentale per rilevare le parti inaccessibili della facciata: è in questi casi che la fotogrammetria e i sistemi informatici si rivelano i metodi più efficaci, soprattutto se i prospetti presentano apparati decorativi molto complessi.

Tali procedimenti possono essere impiegati con vantaggio anche per il rilevamento degli interni degli edifici, quando sono presenti apparati decorativi importanti, ma risultano addirittura insostituibili per il rilevamento delle lesioni, quando si vogliano effettuare controlli anche a distanza di tempo. La fotogrammetria e i sistemi informatici permettono, inoltre, di redigere carte tematiche di grande precisione per la documentazione dello stato generale di degrado, con l'ausilio dell'analisi stereoscopica e altri programmi di monitoraggio.

Anche il metodo del raddrizzamento fotografico, realizzando fotopiani di facciate, può fornire un interessante strumento di lettura, dal momento che evidenzia gli aspetti essenziali dello stato delle superfici.

Per la conoscenza delle zone interessate dalle infiltrazioni di umidità, risulta particolarmente utile l'impiego di *camere termovisive* che, rilevando la differenza di temperatura tra i vari punti di una parete, consentono di ottenerere una documentazione delle zone più fredde. Come è noto, infatti, le aree più umide, per effetto dell'evaporazione, risultano anche più fredde delle altre e, di conseguenza, sono messe ben in rilievo dalle camere termovisive: questa tecnica viene anche impiegata per il rilevamento di elementi di discontinuità all'interno delle murature (presenza di tiranti metallici, chiu-

sura di vani, come porte o canne fumarie ecc.). La termovisione, infine, si è dimostrata particolarmente utile in quanto si tratta di una tecnica di rilevamento non distruttivo.

Rilevamento delle murature

Come si è gia detto a proposito del rilevamento archeologico, lo studio delle murature si basa su un approfondito esame diretto delle stesse, per comprenderne la stratigrafia, per individuarne le tipologie costruttive, i materiali di cui sono composte e la loro lavorazione e posa in opera. Sui prospetti generali si indicano, poi, sia le fasi costruttive essenziali (originaria, di ampliamento, di sopraelevazione), sia le anomalie (restauri, addossamenti, ricuciture ecc.), frutto di interventi nel tempo: tanto le prime, quanto le seconde, contrassegnate con un numero o una sigla, vengono studiate, misurate accuratamente e quindi rappresentate.

Occorre distinguere, nell'organismo architettonico, le murature omogenee, derivate cioè da un'unica operazione costruttiva, da tutte quelle nelle quali varie attività edilizie succedutesi nel tempo hanno portato all'apertura di nuove porte o finestre, alla chiusura di altre, al rialzo di pareti, all'accostamento di nuovi muri a quelli preesistenti, lasciando tracce utili per comprendere le trasformazioni subite dall'edificio e le fasi cronologiche di costruzione. In tal caso è bene che le discontinuità murarie, le irregolarità costruttive, i differenti allineamenti strutturali siano riportati su disegni in scala 1:100 o 1:50, salvo casi particolari.

Con un rilevamento di questo tipo vanno evidenziate le apparecchiature murarie, così da mettere in risalto il tipo di materile impiegato, la sua forma e le sue dimensioni, il tipo di finitura superficiale, lo spessore e il trattamento dei giunti e lo spessore degli strati di malta (fig. 4). Tenuto conto che si tratta di uno studio di dettaglio, con l'utilizzo di scale che vanno da 1:20 a 1:10 e oltre, anche in relazione alla dimensione dei materiali da costruzione, è sufficiente selezionare porzioni tipiche dei paramenti murari, normalmente di 1 m x 1 m (fig. 5).

Per il rilevamento delle murature ci si avvale sia del metodo diretto, sia di quello fotogrammetrico, sia di quello informatico[4].

Rilevamento del quadro fessurativo

L'organismo edilizio è formato di varie parti e di materiali diversi, che sono in continuo adattamento in relazione ad una serie di cause, come temperatura, umidità, carichi, azioni chimiche, assestamenti di terreno, modificazione dell'andamento delle falde freatiche ecc. Tali cause, interne od esterne all'edificio, possono produrre, in base alla loro intensità, più tipi di movimenti strutturali, da quelli tollerabili e assorbibili dalle strutture senza alterazioni di sorta a quelli irreversibili, con comparsa di lesioni più o meno gravi, fino al collasso delle strutture stesse. I principali difetti riscontrabili negli edifici sono dovuti a carenze strutturali, a carenze dei materiali e a carenze costruttive, che possono determinare lesioni, cedimenti, fuori piombo, spanciamenti ecc. Le lesioni si suddividono in *inerti*, che sono le meno pericolose (tanto più se risultano vecchie), e in *attive*: dannose perché in atto.

Il rilevamento del quadro fessurativo deve essere eseguito con molta cura ed esattezza, poiché dalla sua analisi è possibile risalire alle cause che lo hanno determinato. Esso, pertanto, deve essere riportato su disegni a grande scala (1:50 ÷ 1:10), al fine di mettere in risalto l'andamento effettivo delle lesioni. Inoltre, occorre evidenziare il quadro generale e di dettaglio delle fessurazioni ed indicare se esse attraversino lo spessore murario o se siano superficiali. Si è già detto che l'andamento delle lesioni, la loro giacitura, forma e grandezza possono indicare più o meno chiaramente le cause che hanno determinato il loro insorgere; il rilevatore, pertanto, è chiamato a dare conto non solo dell'andamento spaziale delle lesioni, ma anche della loro dimensione, e a documentare, inoltre, se questa sia costante o se abbia un andamento variabile, come pure l'inizio, la fine e il punto di massima apertura della lesione stessa; si deve anche provvedere a evidenziare, con eventuali disegni di dettaglio, il profilo dei due margini, in modo che si possa accertare se vi sia stato un semplice distacco per allontanamento delle due parti della muratura, oppure anche una rotazione o un altro fenomeno.

Per l'esemplificazione grafica del quadro fessurativo si possono utilizzare, come base di lavoro, i disegni predisposti per il rilevamento architettonico (piante, prospetti e sezioni), ed anche elaborati specifici (per un ambiente, ad esempio),

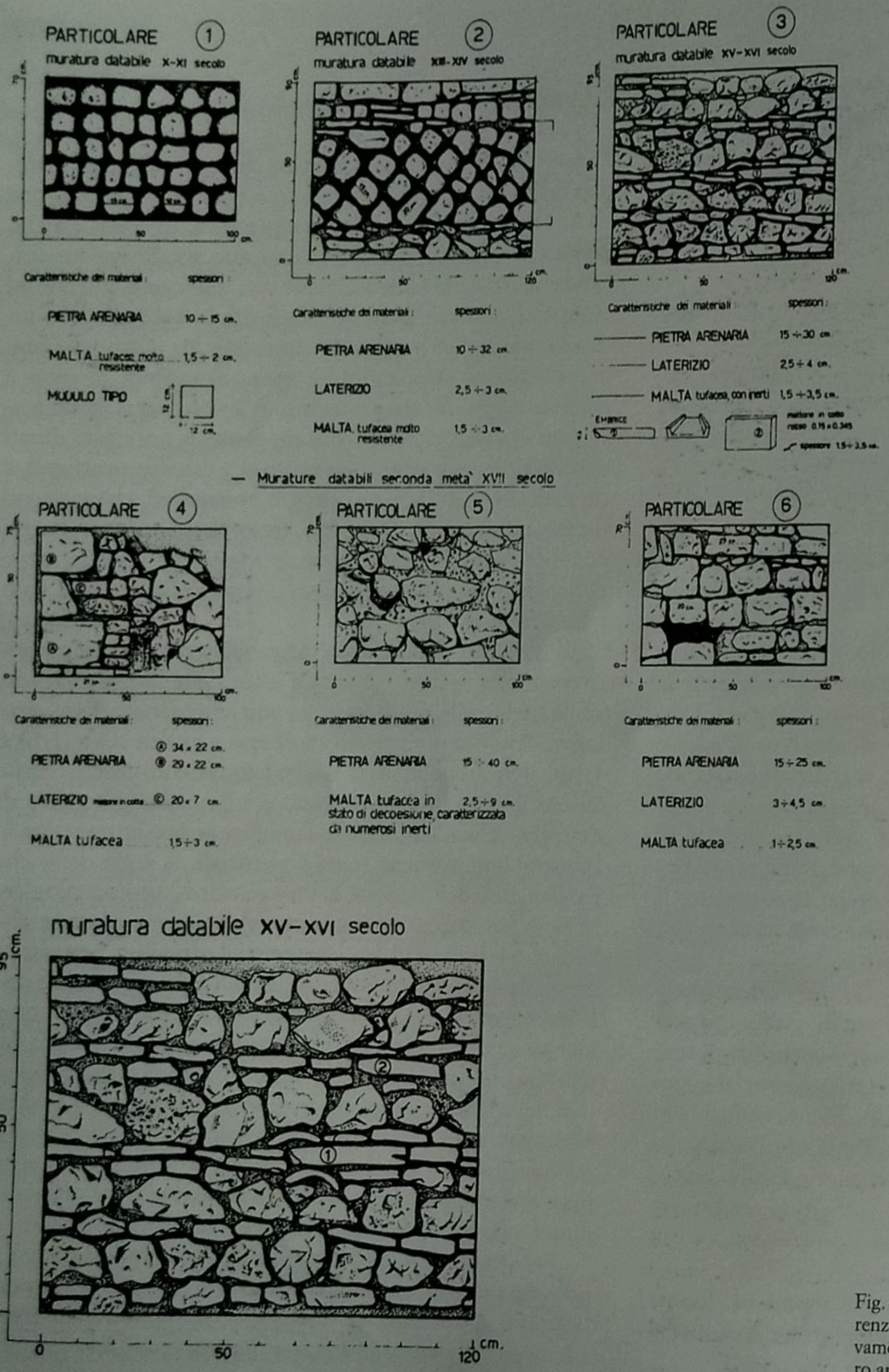


Fig. 4. Civitella San Paolo (Roma), chiesa di San Lorenzo. Rilevamento analitico delle murature. Rilevamento M. Calamarà, M. Palma (corso di Restauro architettonico, professore G. Carbonara).

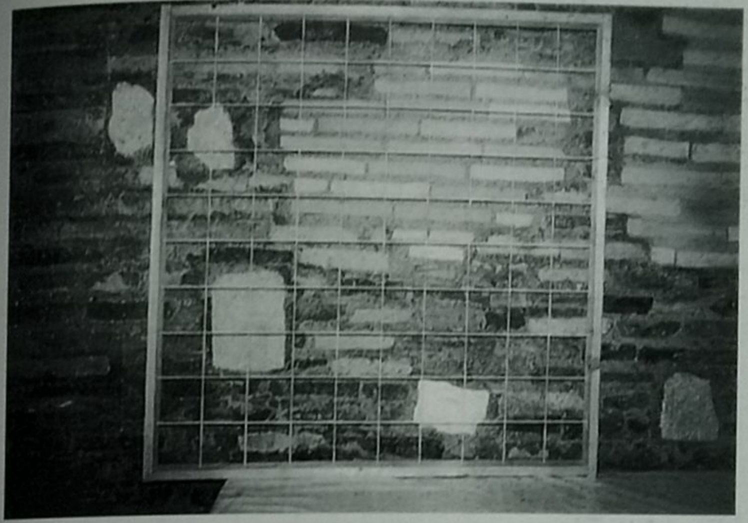
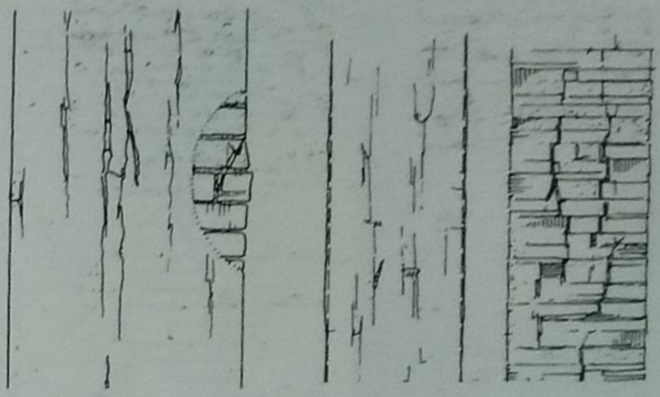
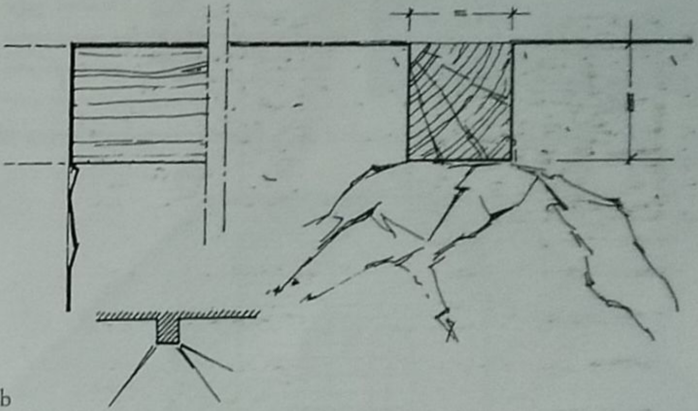


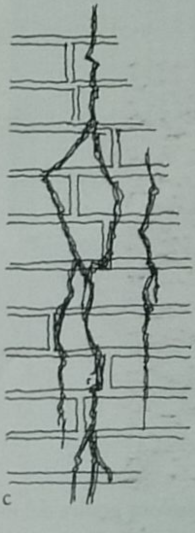
Fig. 5. Faleria (Viterbo), chiesa di San Giuliano. Reticolo a maglie quadrate per il rilevamento di dettaglio dell'apparato murario. Rilevamento D. Miccolis, F. Vincioni (corso di Restauro architettonico, professore G. Carbonara).



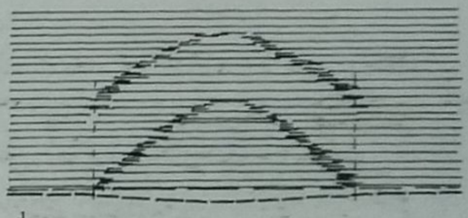
a



b



c



d

Fig. 6a,b,c,d. Esempi vari di rilevamento di dissesti riscontrabili negli edifici: a) lesioni di un pilastro soggetto a schiacciamento; b) lesioni, indotte da una trave, su muratura; c) dettaglio di lesioni da schiacciamento di un pilastro; d) lesioni dovute a cedimento della fondazione.

ove siano contemporaneamente presenti l'intradosso del solaio o il pavimento, a contatto con i ribaltamenti delle pareti interessate dalle lesioni.

Nelle figg. 6a e 6c sono riportati esempi di prospetti, con l'indicazione delle lesioni da schiacciamento; nella fig. 6d sono riportate fessurazioni dovute a cedimento della fondazione. Nella fig. 6b si può osservare un esempio di lesioni indotte da schiacciamento di una trave.

In casi particolari, quando, ad esempio, le lesioni interessano strutture portanti di grande rilevanza, è necessario l'impiego di riprese fotogrammetriche o informatiche che permettano di documentarne la forma e la dimensione con grande esattezza (fig. 7). Tali riprese, effettuate a distanza di tempo, consentono anche un controllo differito. Un esempio di questa tecnica è mostrato nella fig. 8.

Per la rappresentazione del quadro fessurativo, non solo è necessario riportare in pianta e in alzato l'andamento delle lesioni (fig. 9), ma in certi casi occorre avere anche un quadro spaziale del loro percorso ricorrendo, oltre che alle normali raffigurazioni, a viste assonometriche che consentono una visione spaziale sintetica (fig. 10); è opportuno, inoltre, utilizzare particolari forme di simbologia, che possano evidenziare con chiarezza le varie tipologie di lesioni (fig. 11).

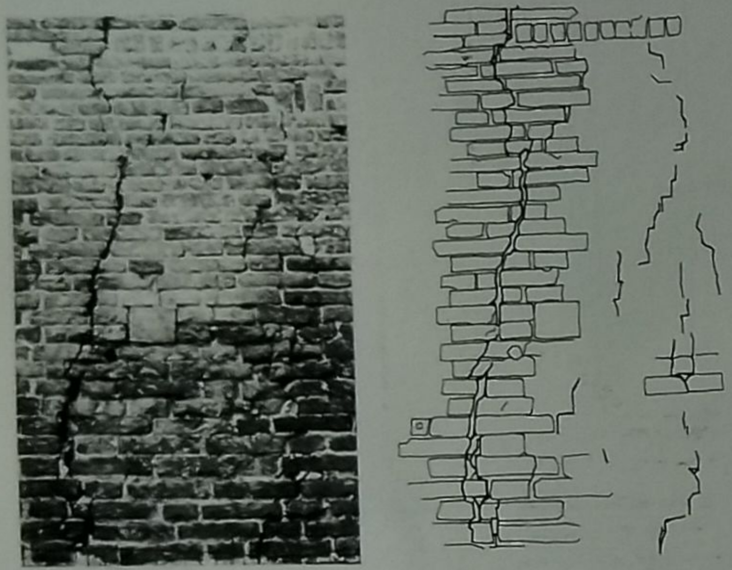


Fig. 7. Fotogramma e restituzione grafica di un sistema fessurativo in una parete di mattoni.

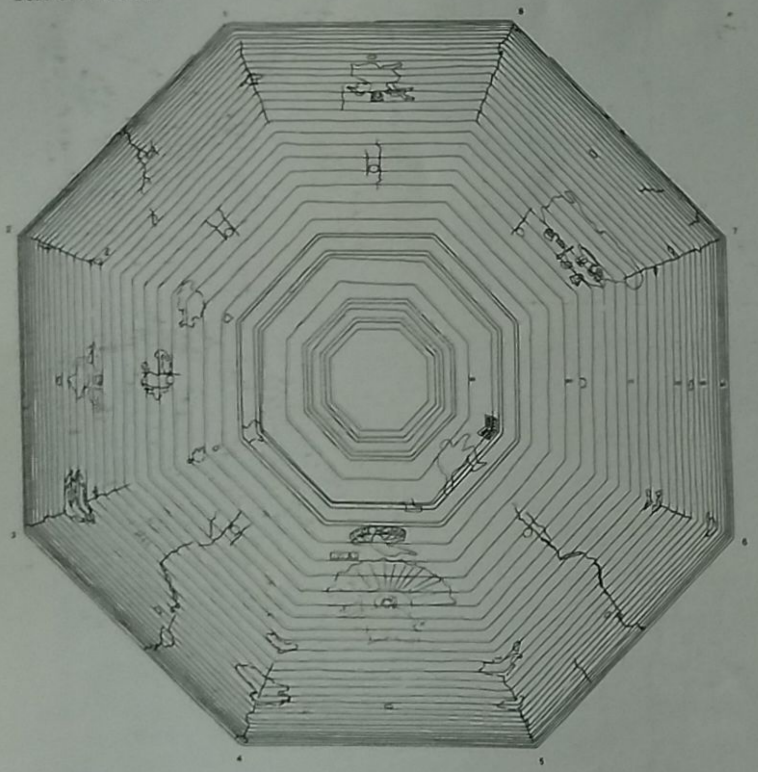


Fig. 8. Firenze, cattedrale di Santa Maria del Fiore. Restituzione grafica del rilevamento fotogrammetrico delle lesioni.

Rilevamento dell'umidità

Il rilevamento dell'umidità, anche di quella derivante da fenomeni di risalita per capillarità, viene effettuato, generalmente, seguendo il perimetro delle zone di infiltrazione, di dilavamento ecc. Sono disponibili in commercio speciali apparecchiature che, appoggiate alle murature, consentono di determinare il loro grado di umidità. È indispensabile che, prima del rilevamento *in situ*, si proceda a individuare e a perimetrare le varie zone ove è presente l'umidità e a classificarle, a seconda che si tratti di *risalita capillare*, di *dilavamento* oppure di *infiltrazione*, di *condensa* ecc.

L'impiego di camere termovisive consente di effettuare una mappatura del fenomeno, attraverso il rilevamento delle differenze di temperatura nelle murature: con questo metodo, misurando le differenti temperature delle zone umide, è possibile anche accertare la direzione dell'infiltrazione, soprattutto nel caso di risalita capillare. Il rilevamento dell'umidità viene eseguito, di solito, tenendo conto che le scale di riduzione sono di norma comprese tra 1:50 e 1:10.

Per la rappresentazione del fenomeno si utilizzano simbologie atte ad evidenziarne le diverse tipologie, come si può osservare nel capitolo sulla raffigurazione del rilevamento (cfr. *infra*, cap. XI). Un esempio di quanto si è detto è riprodotto nella fig. 12.

Rilevamento del degrado

Il rilevamento e la rappresentazione del deterioramento e degli ammaloramenti dei materiali sono di solito realizzati adoperando, come base cartografica, quella del rilevamento architettonico, sulla quale, usando simbologie sintetiche prevalentemente a carattere astratto, vengono riportate le perimetrazioni delle zone soggette ad alcuni aspetti tipici del degrado (rigonfiamento, distacco, fessurazione, fratturazione, scagliatura, corrosione, efflorescenza ecc.). Per un'analisi più dettagliata dei fenomeni di degrado e per i problemi connessi alla loro raffigurazione, si rinvia a specifici testi di restauro[5].

Tuttavia, l'osservazione diretta, la fotogrammetria e altri procedimenti indiretti servono efficacemente per stabilire la

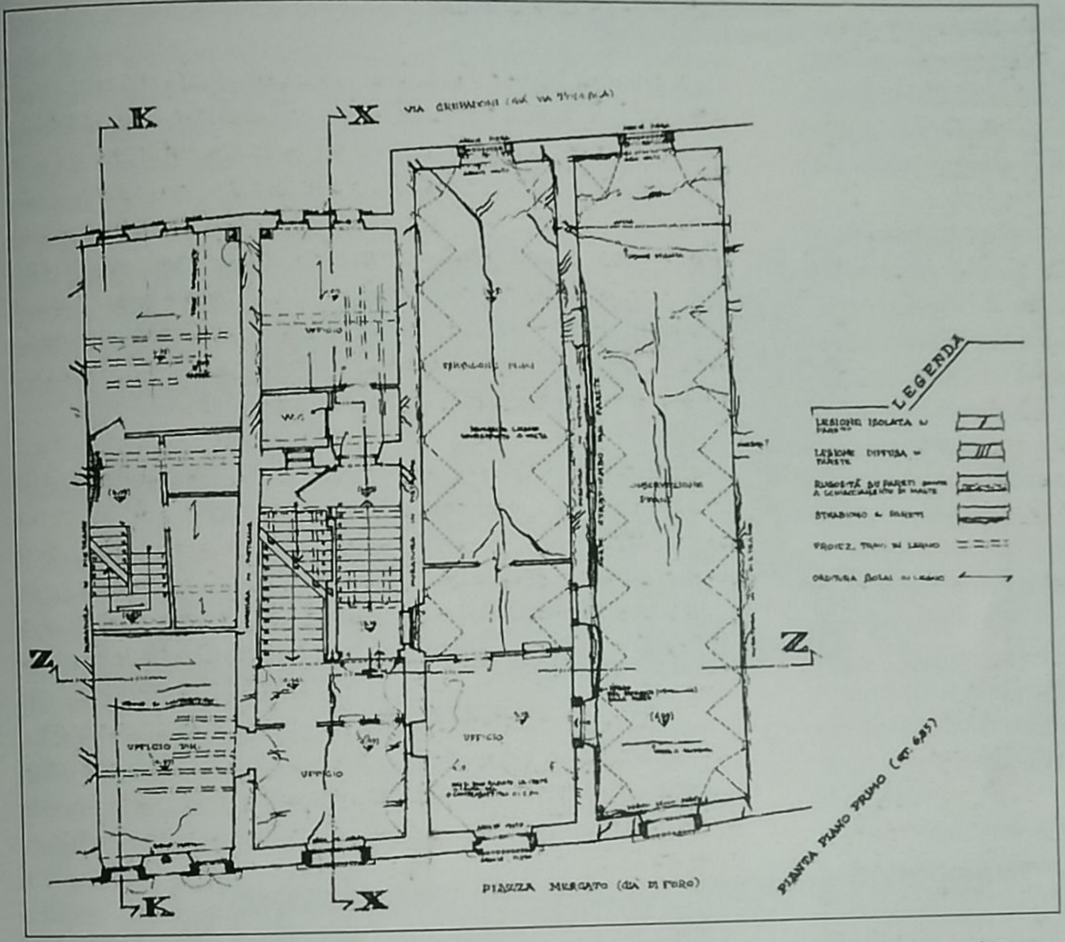


Fig. 9. Belluno, Monte di Pietà. Pianta del piano primo; delineazione delle lesioni e dei dissesti (corso di Restauro architettonico, professore M. Dal Mas).

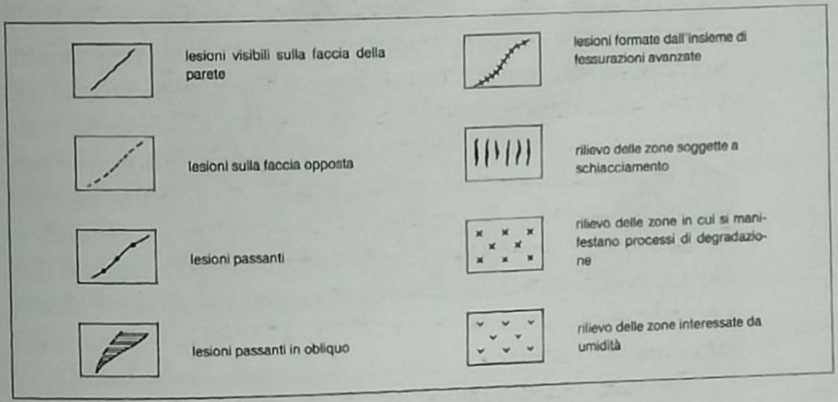


Fig. 11. Legenda per i vari tipi di lesioni e dissesti degli edifici.

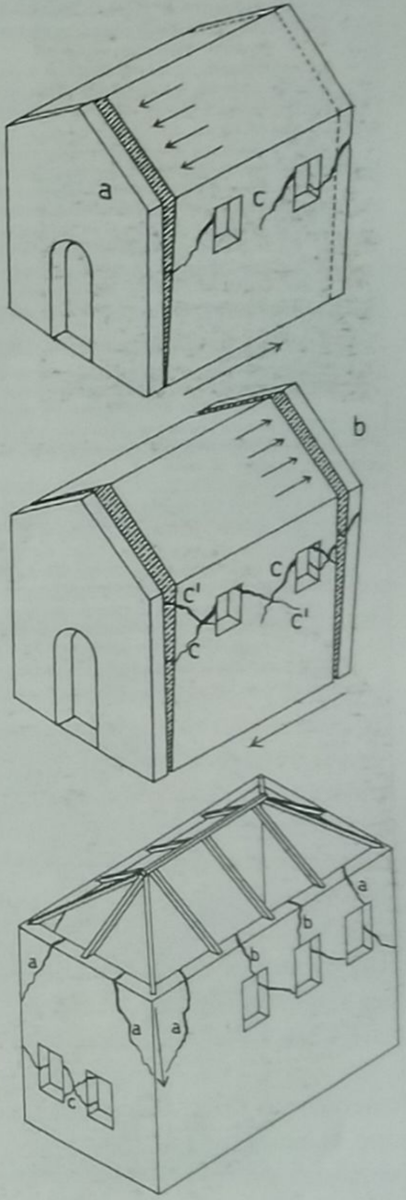
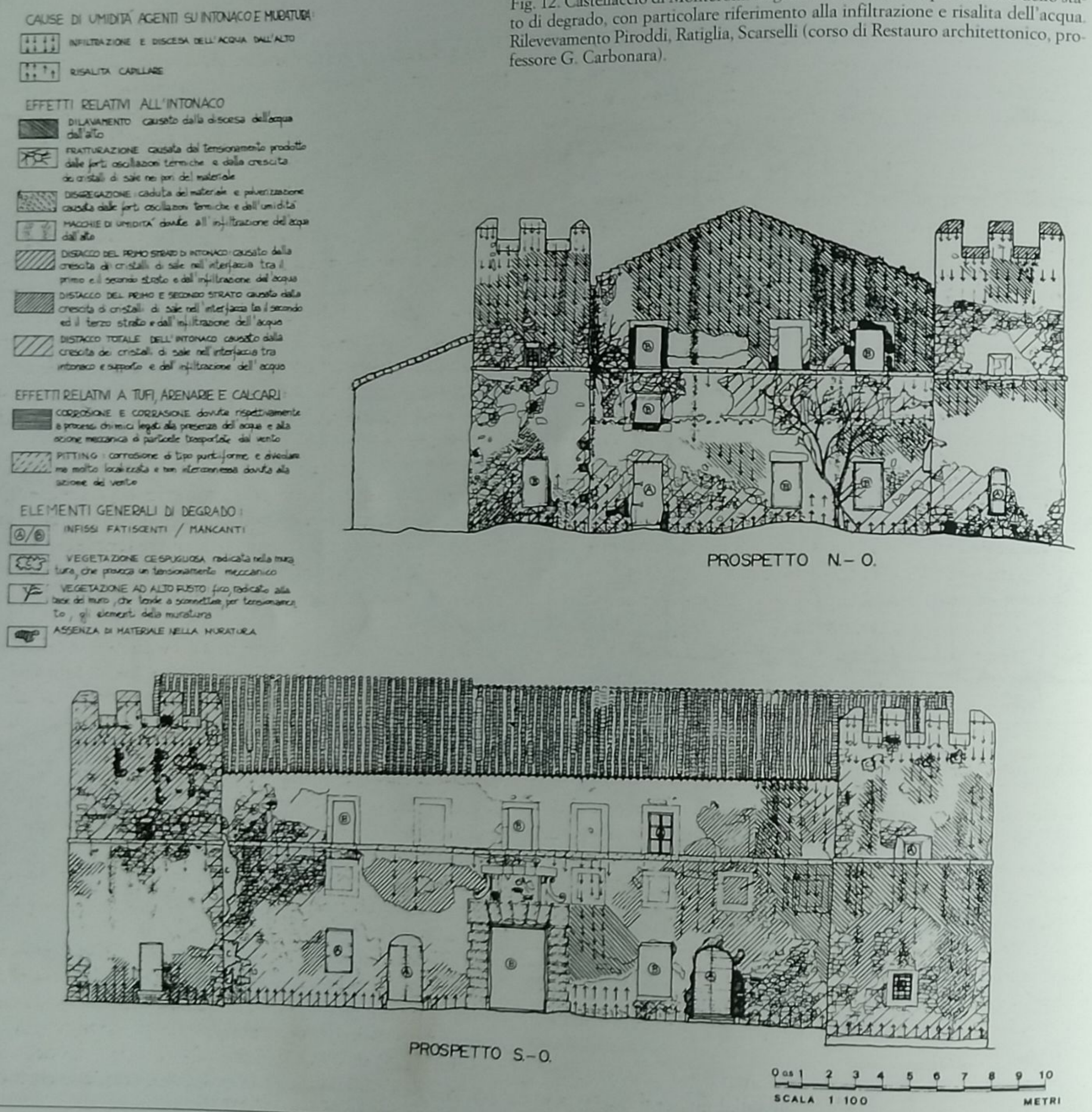


Fig. 10. Schematizzazione delle lesioni su immagini assonometriche (G. Cigni).

Fig. 12. Castellaccio di Monteroni. Legenda e relativa esemplificazione dello stato di degrado, con particolare riferimento alla infiltrazione e risalita dell'acqua. Rilevevamento Piroddi, Ratiglia, Scarselli (corso di Restauro architettonico, professore G. Carbonara).



mappatura del degrado. Il rilevatore, dopo aver individuato *in situ* le perimetrazioni delle zone con i diversi tipi di degrado, deve rilevarle e, quindi, con le apposite simbologie, evidenziarle negli appositi elaborati grafici. Per la delimitazione delle aree ammalorate, si può far riferimento agli elementi architettonici, sia orizzontali che verticali, più vicini, riprodotti nelle tavole di rilevamento architettonico (fasce marcapiano, stipiti di porte e di finestre, paraste ecc.). Per la simbologia da utilizzare, non ancora messa a norma, si può far riferimento a quanto predisposto dalla Commissione Normal[6], adattando il tutto al caso specifico, e anche introducendo nuovi simboli.

Rilevamento del colore

Il ruolo del colore nel contesto urbano. Il colore delle cortine murarie ha un ruolo fondamentale nel contesto urbano, non solo sotto il profilo percettivo-ambientale, ma anche per la caratterizzazione degli insediamenti. Esso, infatti, imponendosi alla vista, con il pigmento cromatico degli intonaci e con le tonalità dei paramenti lapidei contribuisce alla composizione di tutto lo scenario urbano, dilatando o contraendo percettivamente gli spazi e risultando, quindi, parte integrante del messaggio e del significato delle architetture che formano la città; nello stesso tempo, essendo legato alla storia dell'organismo edilizio che si esamina, esso è portatore di segnali e di notizie utili ai fini della conoscenza specifica di ciò che si studia[7]. Da tempo, ormai, numerosi piani del colore sono stati proposti e adottati in numerose città d'Italia e d'Europa[8].

Il rilevamento cromatico per il restauro ha, pertanto, due finalità principali: la prima è quella di segnalare notizie utili per la conoscenza della storia del manufatto (di tracce di colore, di vecchie insegne, di colature d'acqua, di graffiti ecc.), che non possono essere trasmesse dal solo segno grafico, ma solo dal colore; la seconda è quella di documentare, a una certa data, la tonalità, il tipo, la qualità del pigmento cromatico dell'intonaco e del paramento lapideo e, in generale, del materiale superficiale di rivestimento, posto a protezione della struttura muraria.

Questo particolare tipo di rilevamento può essere «manuale» o «strumentale»; l'uno è consigliabile per il rilievo del colore esistente, visibile sulle pareti; l'altro è necessario per la ricerca del colore «originario» e viene realizzato attraverso il prelievo di campioni d'intonaco, da sottoporre ad analisi stratigrafiche fisico-chimiche, che permettono di individuare tutte le coloriture via via sovrapposte a quella originaria e di conoscere, quindi, l'effettivo colore cercato.

Il rilevamento cromatico manuale. In relazione al colore esistente sulla facciata di un qualsiasi edificio appartenente al tessuto urbano di un centro storico, è necessario operare con metodo anche nel predisporre il disegno di supporto per l'elaborato grafico. Infatti, l'edificio oggetto dell'operazione può essere sia seriale, sia isolato: nel primo caso è importante redigere il rilievo cromatico del prospetto (parziale o totale) della quinta edilizia di cui fa parte l'edificio oggetto di studio; nel secondo caso, invece, è bene inserire il prospetto della fabbrica tra quelli che lo attorniano.

Il colore di ogni facciata, infatti, acquista una particolare tonalità a causa del suo rapporto con le facciate adiacenti, tonalità che non può essere messa in secondo piano, se si vuole operare correttamente, e di cui si dovrà tener conto anche per gli effetti di vibrazione chiaroscurale, dovuti alle ombre proprie e portate degli elementi architettonici delle pareti contigue.

È per questo motivo che non va rilevato il colore di un singolo elemento seriale di edifici a schiera: tale colore sarà, infatti, sempre diverso da quello che appare realmente alla vista, essendo in relazione con i colori contigui, come già nel 1967 osservava Johannes Itten: «Come una parola soltanto in rapporto alle altre ha un senso preciso, così i singoli colori raggiungono la propria espressione univoca ed il proprio significato preciso soltanto in relazione ad altri colori»[9]. Occorre, procedere, quindi, al rilevamento architettonico dell'organismo edilizio, prima inserito nel contesto urbano e poi nel suo dettaglio, passando dalle scale 1:200 alle scale 1:100, 1:50 e anche inferiori, se necessario[10].

Gli elaborati grafici d'insieme, in scala 1:200, permettono una visione globale e una sintesi corretta delle tonalità cromatiche e, insieme, una lettura abbastanza chiara del dettaglio architettonico, riscontrabile sia nel piano terra (portali e gradini d'ingresso, insegne, zoccolature ecc.), sia nelle zone più alte dell'edificio (fasce marcapiano, cornici e cornicioni di coronamento), cfr. tavv. I-IV.

In questa fase è bene avvalersi di una ricognizione fotografica realizzata con attenzione, eseguendo ordinatamente fotografie frontali ravvicinate di tutti i piani e della copertura, per una prima individuazione cromatica[11]. Tale operazione, però, vale solo come conoscenza di massima: la presenza diretta sul posto è indispensabile, sia per mettere a registro il giusto tono del colore segnalato sulle immagini fotografiche, sia per consentire di tracciare la restituzione cromatica finale[12].

La tecnica pittorica da adottare. Le tecniche migliori da usarsi per gli elaborati grafici del rilevamento cromatico sono la tempera e l'acquerello. La *tecnica della tempera*, per la resa opaca e omogenea del colore, è idonea alla restituzione cromatica delle facciate trattate con colori sintetici o ritinteggiate al quarzo plastico o, ancora, per la definizione di alcuni elementi particolari, come le scritte colorate delle insegne, di alcuni graffiti ecc. È evidente, però, che la scelta della tecnica pittorica da adottare per il rilevamento cromatico dell'architettura viene suggerita da un'osservazione elementare: il rilievo deve rendere sulla carta l'effetto cromatico della superficie del manufatto, così come appare alla vista.

La tecnica dell'acquerello, in cui il colore si diluisce con acqua, permette di restituire sulla carta, con la massima verità, la reale coloritura degli intonaci a calce, rendendone il morbido effetto di trasparenza e le infinite sfumature dei toni ed evitando gli errori e le ambiguità del mezzo fotografico. Nello stesso tempo, per la trasparenza totale permessa da questa tecnica, le linee che rappresentano le partiture architettoniche rimangono intatte, il che non può avvenire, invece, con l'uso delle tempere che, per la loro caratteristica coprente, vanno abbinate all'acquerello con le dovute precauzioni e solo dove necessario.

Gli elaborati cromatici di sintesi (nel rapporto 1:200) saranno trattati diversamente da quelli più particolareggiati (in scala 1:100, 1:50 ecc.), riferiti al singolo edificio, in cui si segnaleranno anche il tipo di degrado, con il posizionamento delle macchie di muffa, le scrostature, le colature, le scagliature ecc., nonché la grana del materiale di superficie, le stilature dei giunti ecc.

Gli strumenti per il rilevamento manuale: la carta, i pennelli e i colori da usare. Il disegno va eseguito o stampato su cartoncino pesante, ricordando che, per questa operazione, il tessuto della carta non deve essere poroso o molto ruvido, il che è invece quanto si consiglia abitualmente per un acquerello normale con finalità «pittoriche».

Nella rappresentazione finalizzata al restauro si richiede all'acquerello la totale veridicità del colore dell'immagine architettonica rilevata. È da preferire, quindi, la carta liscia o semiporosa, ma abbastanza robusta da sostenere ripetute velature d'acqua.

Per quanto riguarda i pennelli, che devono essere di buona o ottima qualità, si fa presente che la loro grandezza deve essere direttamente proporzionale alla superficie da coprire e che, per una buona restituzione cromatica, il pennello dovrebbe «sorvolare» il supporto cartaceo, sfiorando appena il foglio nel depositare le tinte.

I colori ideali sono quelli che, nelle loro tonalità basiche, maggiormente si accostano, in purezza di tinte, alle tinteggiature applicate sui muri. I migliori, anche per finezza e resistenza, sono quelli inglesi (Winsor & Newton) e quelli tedeschi (Lukas, Schmincke ecc).

Come si imposta l'elaborato di rilevamento cromatico a vista. Il disegno eseguito deve essere acquerellato con una metodologia finalizzata alla restituzione effettiva delle tinte rilevate.

Per quanto riguarda i prospetti, prima di tutto va applicato sui vetri delle finestre il tono trasparente dell'azzurro del cielo, con l'uso del blu di Prussia, in due velature successive, e del blu cobalto, in ultima velatura, per i riflessi (tav. I). Va steso, poi, il colore di massa delle tegole delle coperture, con l'uso del rosso inglese, unito al seppia, nelle sfumature più idonee e, successivamente, il tono degli intonaci a calce delle zone di fondo tra gli ordini architettonici: per tale tono, sugli ocra o sui rossi pozzolanici, i pigmenti più ricorrenti sono l'ocra gialla e il terra di Siena naturale e bruciata, il rosso inglese chiaro e la garanza rosa (tav. II). Quando la stesura dei fondi risulta asciugata, si applicano i colori più scuri, sia sui vetri delle finestre al piano terra, sia negli infissi delle persiane ai piani superiori (tav. III); i portali e i portoni d'ingresso devono essere trattati per ultimi (tav. IV).

Per tutte queste tonalità è necessario che l'acquerello risulti sempre trasparente, pronto a ricevere successive velature di rinforzo. Quando l'elaborato è asciutto, con le varie tonalità distribuite omogeneamente, si passa alla definizione delle macchie, delle scrostature e anche alla segnalazione dell'eventuale presenza di vegetazione.

È evidente che la resa cromatica sarà sempre più approfondita passando alla scala di dettaglio in cui l'acquerello potrà evidenziare le stilature dei mattoni a cortina, la struttura alveolare del travertino, la porosità materica e le inclusioni granulari del peperino, nonché lo stato di degrado dell'intonaco indicato con i colori verdi e viola delle muffe e delle scolature d'acqua delle grondaie.

Terminata l'operazione di restituzione cromatica a tavolino, effettuata sulla base delle osservazioni e degli appunti cromatici presi sul posto e sul rilevamento fotografico, è necessario eseguire subito un sopralluogo di verifica per completare dal vero il grafico, con i ritocchi definitivi ai dettagli cromatici più significativi e con l'operazione di stesura delle ombre, eseguita con velature successive di oltremare, unito al bruno van Dyck e al carminio, velature che conferiranno alle tonalità della pietra e degli intonaci il reale effetto plastico, senza alterare il colore di fondo.

Certo è auspicabile che, nella restituzione definitiva, all'elaborato di rilevamento del cromatismo attuale, realizzato «manualmente», si accosti il grafico di rilievo cromatico originario, risultante dagli esami strumentali svolti. Dopo l'esame comparato dei due disegni si potrà procedere alle operazioni di progetto di ripristino e di restauro a cui il rilevamento stesso è finalizzato.

La normativa. La normativa in merito al rilevamento del colore è in fase di continua elaborazione.

L'origine di una normativa sul colore è databile, in Italia, al 9.1.1807, con il decreto vicereale (Eugenio Napoleone), che stabilisce una Commissione d'ornato per le città di Milano, Venezia e per gli altri comuni, specialmente di *Prima Classe* o *Murati*, e affida le rispettive incombenze ai consigli comunali. Da allora, ogni città si è dotata di una specifica normativa e regolamento d'ornato; commissioni per l'ornato cittadino sono predisposte e operano nel territorio, limitando la propria competenza alla concessione di autorizzazioni. Sono molto interessanti il regolamento d'ornato della città di Novara (10.2.1861) e la successiva mappa del degrado delle facciate della città, che visualizzano i dati sull'aspetto estetico delle facciate senza tinta.

Nel regolamento edilizio del Comune di Roma (deliberazioni del governtore n. 5261, del 18.8.1934 e nn. 6032 e 6033 del 29.9.1934), le norme relative alle opere esterne dei fabbricati sono trattate nel titolo IV, art. 49, *Estetica degli edifici*, comma 1: «Le fronti delle case e degli edifici in genere, prospettanti su vie o spiazzi pubblici o comunque da queste visibili, debbono, con speciale riguardo alla loro ubicazione, corrispondere alle esigenze del decoro edilizio, tanto per ciò che si riferisce alla corretta armonia delle linee, quanto ai materiali da impiegare nelle opere di decorazione ed alle tinte». Il titolo VII, in particolare, dà le *Disposizioni relative ai fabbricati esistenti. Opere esteriori ai fabbricati* e regola, quindi, le trasformazioni e i restauri.

La Regione Piemonte tutela il colore, considerato «elemento del paesaggio», con legge regionale del 5 dicembre 1977, n. 56.

Note

[1] Cfr. G. Carbonara, *Disegnare per il restauro*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. I, n. 0, Roma 1989.

[2] G. De Angelis D'Ossat, *Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento*, Roma 1972; P. Sanpaolesi, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze 1973.

[3] P. Fancelli, *Il progetto di conservazione*, Roma 1983; Id., *La restituzione grafica: note di filologia architettonica*, in «Ricerche di Storia dell'Arte», 1986, n. 27.

[4] Cfr., ad esempio, S. Brusaporci, *Il disegno dell'*apparecchio aquilano *nell'architettura religiosa dal XII al XIV secolo*; e I. Trizio, *Rilievo della* Iglesia de S. Augustin *a Valencia: un'esperienza multidisciplinare di rilievo integrato*, in R.M. Strollo (a cura di), *Disegno e conoscenza: contributi per la storia e l'architettura*, Roma 2006.

[5] Cfr. Fancelli, *Il progetto di conservazione* cit.

[6] La Commissione Normal è stata istituita dal CNR e dall'ICR (Istituto Centrale per il Restauro), con lo scopo di studiare specificamente l'alterazione dei materiali lapidei e i relativi trattamenti conservativi. Le sue raccomanda-

zioni sono regolarmente pubblicate e contengono indicazioni anche sulla raffigurazione grafica.

[7] Quale parte inscindibile e insostituibile dell'unità estetica dell'immagine urbana, l'elemento colore è considerato ormai un «bene comune» da tutelare, conservare e proteggere dal rischio delle azioni di degrado, che appare sempre più minaccioso, sia per l'accelerata aggressione degli agenti di inquinamento chimico e atmosferico, sia per quella derivante dalle errate operazioni di ritinteggiatura che, alterando fortemente il cromatismo originario o precedente dell'edificio, squalificano il contesto di cui esso è parte integrante.

[8] Si presentano, qui di seguito, alcuni cenni dei piani del colore di Novara, di Saluzzo, di Foligno e di Roma.

Novara

L'analisi storica parte dalla raccolta di tutti i documenti, esistenti negli archivi, sui colori della città (documenti di carattere letterario-descrittivo e documenti grafici, consistenti in prospetti acquarellati), colori che sono trascritti con il sistema di codificazione Munsell. Tali documenti sono riportati su una mappa cromatica, sistemati in ordine alfabetico per ogni via della città, in un catalogo topografico dei colori, in cui la denominazione di ogni colore viene uniformata a quello di Torino (G. Brino, F. Rosso, *Colore e città*, Milano 1980). Segue un elenco dei modelli di colorazione (dai monocromatici ai policromatici), in cui sono classificate in ordine cronologico le combinazioni possibili per ogni raggruppamento e sono visualizzati i modelli di colorazione più ricorrenti in una «Tavola delle combinazioni cromatiche», da cui si ottiene la tavolozza dei colori di Novara. L'uso dei colori nel tempo viene evidenziato in un diagramma cronologico di essi, mentre la mappa delle cave indica la provenienza dei materiali petrosi, citati come colori nei documenti. Infine, una tabella sintetizza la distribuzione dei colori citati nel documento rispetto agli elementi di architettura (facciata intera, fondo facciata, cornicione, cornici, ornati, lesene ecc.).

Saluzzo

Per quanto riguarda il comune di Saluzzo, l'operazione di rilevamento del colore è finalizzata a un piano teso a «ritinteggiare» sistematicamente tutto il centro storico a lotti successivi, in base ad ordinanze municipali, secondo un modello che ha riscontro solo in Lione e in poche altre città francesi. Per la determinazione dei colori originari «si è fatto ricorso a un rilievo sistematico in sito delle tracce delle tinte superstiti, prelevando per ogni facciata i campioni di intonaco colorato per le prove fisico-chimiche di laboratorio, e conservati in appositi contenitori a documentazione dei colori originari, destinati a scomparire dopo la ritinteggiatura». Per la notazione del colore è stato assunto il sistema Munsell; per gli intonaci è stata impiegata la collezione Soil Colors Charts, la più congruente con i colori originari a calce e terre coloranti naturali, e per gli smalti impiegati nei legni e nei ferri, la Glossy Finish Collection.

La scheda di rilevamento dei colori delle facciate, progettata per il censimento dei colori di qualunque tipo di prospetto in base a rilevamenti sul posto o a ricerche d'archivio, registra tutti i dati relativi alla colorazione, sia dell'intero prospetto che del singolo elemento componente. Con essa si può descrivere, infatti, in modo oggettivo, per ogni elemento considerato, il particolare tipo di colore, di tecnica, di materiale o di finitura, riportando in apposite caselle i codici previsti.

Foligno

Anche l'operazione di rilievo cromatico della città di Foligno è iniziata con una prima fase di ricognizione documentaria storico-ambientale e su una ricognizione diretta basata sulla catalogazione di circa 400 edifici, con la raccolta dei dati riportata su schede; nella seconda fase, invece, sono stati elaborati i dati raccolti nei seguenti grafici:

1) tavola dei fronti rilevati;

2) tavola dei colori rilevati (su cui sono stati riportati tutti i colori presenti, al momento dell'indagine, sulla facciata degli edifici esaminati, colori suddivisi per tipo di tinteggiatura, al quarzo plastico o a calce, e per epoca di tinteggiatura ecc.);

3) schemi e qualificazioni del valore cromatico viario;

4) classificazione delle vie e delle piazze prese a «campione» relativamente al valore degli affacci, delle esposizioni, del rapporto di luminosità e di leggibilità cromatica. Dalla elaborazione di tutti i dati raccolti è nato il progetto del Piano del colore.

Roma

L'Ufficio speciale per gli interventi sul centro storico si è attivato, mettendo in cantiere, in merito al rilevamento del colore urbano:

1) l'elaborazione di una scheda di rilevamento critico del manufatto, con indicazione della natura, della forma e della consistenza delle coloriture dei vari elementi architettonici di facciata;

2) il rilevamento fotografico e critico degli edifici di proprietà comunale e la loro archiviazione su videodisco;

3) la raccolta e lo studio di norme, piani e regolamenti riguardanti esperienze di altre realtà (Torino, Novara, Sassuolo, Giulianova ecc.);

4) l'elaborazione di una bozza di modifica della normativa vigente (artt. 77 e 78 del Regolamento edilizio), per una migliore gestione degli interventi;

5) la ricerca e lo studio di tipologie interessanti con cui sostituire l'abaco dei modelli di colorazione (materiale storico e rilevamenti diretti);

6) lo studio dei più comuni tipi di degrado relativi agli intonaci, alle tinteggiature e ai rivestimenti di pietra.

[9] Cfr. J. Itten, *Arte del colore*, Milano 1982.

[10] È chiaro che il disegno da realizzare, essendo di supporto alla stesura cromatica, deve tener conto delle successive applicazioni di colore. Esso va trattato, pertanto, in modo diverso da un normale grafico di rilevamento, anche eliminando alcuni segni, rinforzando o alleggerendo le linee dei vari tratti, in funzione della successiva resa cromatica, e adottando un idoneo supporto cartaceo.

[11] Le riprese fotografiche, che devono essere di due tipi, ripresa ortogonale (totale e parziale) e ripresa prospettica (di scorcio e d'insieme), dovrebbero essere eseguite in due diverse condizioni d'illuminazione: quella uniforme (con cielo velato) e quella diretta, ponendo molta attenzione, in quest'ultimo caso, all'orario più adatto per la migliore resa della luce sul prospetto, che è forse quello delle prime ore del pomeriggio. È necessario, inoltre, che la ripresa sia preceduta da alcuni sopralluoghi, tesi allo studio dell'«effetto sole», per la resa plastica delle ombre proprie e portate delle membrature architettoniche: ombre che, essendo parte integrante dell'effetto percettivo, hanno un ruolo importante nel rilievo del colore.

[12] Per procedere all'elaborazione dei dati, è bene programmare «a tavolino» il rilevamento cromatico, predisponendo, per gli edifici, apposite schede, atte a dare precise informazioni. Schede di rilievo cromatico sono state proposte da Color Scape: in pratica, esse constano di una scheda «Modello G», in formato A3, contenente le informazioni di carattere generale sull'intero edificio, e di varie schede «Modello R», in formato A4, da inserire nel «Modello G» ripiegato, in numero uguale a quanti sono i punti di rilevamento cromatico da studiare. Per poter inserire nelle schede, in termini non ambigui, il «nome» del colore rilevato sulle varie superfici murarie, si ricorre a sistemi di campionamento standard, divisibili in due gruppi, basati rispettivamente sul principio di «apparenza colore» e di «mescolanza colore». I sistemi del primo gruppo (cui appartengono quelli Munsell, Hesselgreen e Acc) vengono più usati di quelli del secondo gruppo (sistema Ostwald), perché il loro modello matematico risulta molto funzionale nell'elaborazione del codice colore definito dai parametri: tonalità, intensità e luminosità.

L'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) definisce con norme specifiche, revisionate con fogli d'aggiornamento, i sistemi adottati per individuare con precisione il «colore di una superficie» (cfr. le norme UNI/EDL 8813, le norme UNI 7948, le norme UNI/EDL 0088 ecc.).

Capitolo nono

Metodologie di rilevamento con i laser scanner 3D

Premessa

Negli anni '90 del secolo scorso, alcuni ricercatori americani che lavoravano nel settore dei laser ebbero una idea che, con il tempo, si sarebbe dimostrata geniale: quella di impiegare il laser per il rilevamento degli impianti di una raffineria petrolifera; a questo fine costruirono uno strumento che emettendo impulsi luminosi era capace di memorizzare le coordinate cartesiane dei punti appartenenti alla superficie dell'oggetto.

Questo primo strumento, grazie anche al contributo di taluni studiosi italiani, cominciò ad essere impiegato pure nel settore del rilevamento architettonico oltre che in quello territoriale: da quel momento varie aziende produttrici di strumentazioni per il rilevamento cominciarono a progettare e a realizzare laser scanner 3D, con hardware e software dedicati al campo specifico del rilevamento dell'architettura.

Il principio fisico che sta alla base di questi ultimi si fonda su un sistema che immette energia elettrica in un «diodo» il quale, sotto lo stimolo elettrico, emette un raggio di luce laser (laser è l'acronimo per «light amplification by stimulated emission of radiation»). Come è noto, il raggio laser è dotato di particolari caratteristiche, quali la monocromaticità (lunghezza d'onda costante), la coerenza (tutte le onde sono in fase) e una buona collimazione (i raggi sono prevalentemente paralleli). In ragione di queste sue caratteristiche, il raggio si mantiene parallelo e costante nel suo percorso, anche per centinaia di metri, e allorché colpisce una superficie opaca, questa lo riflette mantenendo un buon indice di riflettanza (rapporto tra flusso incidente e flusso riflesso), che permette così al raggio di ritornare al ricevitore dello strumento da cui ha avuto origine, sia pure di intensità ridotta.

Il laser, come si è già detto, si compone di un «diodo», il quale, attraverso una stimolazione proveniente da una sorgente esterna (immissione di energia elettromagnetica), fa sì che alcune particelle allo stato gassoso, liquido o solido, di cui è composto, emettano delle onde elettromagnetiche, continue o ad impulsi, che costituiscono un raggio di luce laser con le caratteristiche sopra descritte.

I laser scanner 3D impiegati nel rilevamento sono strumenti in grado di generare, in una rapida sequenza, una serie di raggi laser che, dopo aver colpito la superficie dell'oggetto da rilevare, ritornano verso lo strumento; questo, attraverso l'elaborazione dei dati ricevuti da parte di un'unità di misura interna, è in grado calcolare le tre coordinate cartesiane di ciascun punto colpito dal raggio laser. Lo schema di funzionamento di quest'apparecchiatura è riportato nella tav. XIV.

Oggi si trovano in commercio varie tipologie di laser scanner 3D; tra cui i più efficaci nel nostro campo sono quelli operanti a «tempo di volo» (TOF, Time of Flight) e quelli che misurano per «triangolazione». Si tratta, come si vedrà, di due diversi concetti operativi, che differiscono per alcuni aspetti relativi al trattamento dei dati ricevuti, anche se va precisato che quelli a «tempo di volo» attualmente sembrano essere preferiti, dimostrandosi come i più adeguati per il rilevamento accurato, a grande distanza, delle superfici proprie dell'architettura.

Laser scanner 3D a tempo di volo

I laser a tempo di volo sono costituiti da un diodo che emette il raggio laser e da un sistema di specchi, che consente di spostare tale raggio lungo una serie ideale di linee verticali e di spostarsi, da sinistra a destra con passo predefinito, da un allineamento verticale all'altro. Il raggio emesso colpisce la superficie dell'oggetto (target) e, dopo essere stato riflesso e modificato nell'intensità (riflettanza), ritorna allo strumento, dove una unità di misura interna calcola con estrema precisione il tempo impiegato tra l'uscita e il ritorno del raggio laser. Il software converte tali dati in coordinate cartesiane: x, y e z, riferite rispetto al centro dello strumento origine O = (x = 0, y = 0 e z = 0) della terna e come ulteriore informazione calcola l'intensità, ossia il valore della luce non assorbita e quindi restituita dai differenti materiali costituenti l'edificio.

Lo strumento, grazie al suo software, è in grado di effettuare con specifiche impostazioni, modificabili nella fase che precede la scansione, alcune correzioni, in relazione alle diverse condizioni ambientali in cui esso opera.

Uno dei laser 3D più diffusi nel settore del rilevamento architettonico è quello costruito dalla Leica Geosystems: lo Scan Station 2, illustrato nella tav. XV.

Il raggio laser, tra un impulso e quello successivo, si muove lungo una linea verticale (cfr. tav. XVI), lo spostamento lungo la quale tra un impulso e il successivo può essere predefinito dall'operatore, con un intervallo minimo variante da 3 mm ad alcuni centimetri; una volta completata la scansione lungo una linea verticale, lo strumento si sposta su una linea parallela, disposta anch'essa verticalmente, ad una distanza, rispetto alla precedente, stabilita dall'operatore; in genere si adotta un intervallo identico a quello tra due punti contigui della linea verticale, in modo da ricoprire l'oggetto da rilevare con una maglia quadrata predefinita. Lo strumento in esame è in grado di operare fino ad una velocità di 50.000 punti al secondo (tav. XVII), e la sua superficie di scansione è selezionabile all'interno di un campo visivo con un'apertura di 360° sul piano orizzontale e di 270° su quello verticale (tav. XVIII). Ne consegue che lo strumento, una volta messo in stazione, scelto il campo visivo e la densità verticale e orizzontale dei punti, rispetto al piano predefinito dall'utente, impostati i dati riguardanti la temperatura, l'umidità, l'altezza dello strumento stesso rispetto al terreno e il filtro di distanza minima e massima di operatività, è in grado di calcolare il tempo di scansione e la densità complessiva orizzontale e verticale della nuvola di punti risultante come prodotto finale della scansione.

Lo strumento Leica Scan Station 2 (di cui sopra), grazie al motore posto alla sua base, guidato dall'operatore attraverso il programma, è in grado di ruotare in continuazione per 360° in orizzontale e 270° in verticale; questa possibilità si dimostra particolarmente preziosa per rilevare, con un'unica operazione, gli spazi interni degli edifici monumentali, come mostra la tav. XIX, dove si è riportata la scansione interna della cupola della chiesa di San Carlo ai Catinari in Roma.

Naturalmente, se la distanza è vicina al limite di portata dello strumento, che per quello preso in esame è di circa 300 metri (per superfici riflettenti al 90%), allora l'oggetto può essere interamente inquadrato; viceversa, quando la distanza è minore, può verificarsi il caso che occorrano più prese per ricoprire tutto l'oggetto da rilevare. Ovviamente, se si è in uno spazio interno, questa regola non vale, ma si deve tener conto della possibilità di far lavorare lo strumento in sequenza, come sopra descritto e come è mostrato nella tav. XX.

Lo strumento in questione ha una precisione di 4 mm sulla distanza di 50 ml in funzione anche della distanza tra lo strumento e il soggetto. Il movimento del laser lungo una verticale e lo spostamento in orizzontale è assicurato da uno specchio panoramico che basculando con rapidissimi movimenti proietta il raggio nei diversi punti dell'oggetto da rilevare.

Il laser scanner Scan Station 2 per poter essere operativo ha bisogno di un computer portatile con cui è interfacciato via rete (tav. XXI); sul portatile una volta connesso allo strumento compare una finestra di dialogo che permette di gestire la scansione (cfr. tav. XXII), ove si imposta l'ambito di inquadramento per la scansione stessa; si scatta e si visualizza la foto della porzione del soggetto da rilevare: si definisce così la densità dei punti rispetto a un piano predefinito; essi descriveranno l'opera con un modello tridimensionale puntiforme (punti corrispondenti alla proiezione della griglia) le cui coordinate sono riferite al centro dello strumento.

Nella fotografia della tav. XXII, riguardante il rilevamento di Piazza Borghese a Roma, la griglia è stata impostata con lato di cm 2,5: lo strumento esegue anche il calcolo della distanza media dal soggetto (Probe) e, di conseguenza, sulla finestra di dialogo appare anche il tempo stimato per la scansione.

Le scansioni vengono salvate all'interno di un database, che solitamente corrisponde al nome del rilievo da eseguire e organizzato in Project, Scan World, ModelSpace, in cui si collocano le nuvole di punti (*points cloud*). Effettuando una serie di prese da diversi punti di vista, è possibile assemblare le varie prese, al fine di ottenere la nuvola di punti complessiva del soggetto rilevato (cfr. Registration). L'immagine della tav. XXIII mostra il rilevamento del fronte del Pantheon. La rappresentazione del Pantheon è costituita da una nuvola di punti orientata e proiettata su di un piano verticale, in modo da costituirne il prospetto. Per quanto attiene all'orientamento della nuvola dei punti, come pure per ciò che riguarda il suo assemblaggio, si vedano i paragrafi successivi.

Va subito detto che la nube di punti può essere utilizzata in vari modi, in relazione alle necessità del rilevamento: essa può essere orientata e proiettata al fine di ottenere rappresentazioni in doppia proiezione ortogonale o in altri metodi di raffigurazione; essa può essere sezionata con piani scelti dall'operatore per realizzare sezioni di tipo tradizionale oppure può essere sezionata per mettere in evidenza particolari aspetti, come ad esempio deformazioni ecc. (tavv. XXIV-XXV). Infine, la nube di punti può essere elaborata per realizzare la superficie dell'architettura rilevata, quando soprattutto sia necessario mettere in risalto le discontinuità dell'opera: in questo caso, come si vedrà in seguito, la nube può essere trasformata in superficie con diversi procedimenti, che possono ottenersi con l'impiego di Mesh, di NURBS ecc.

Laser scanner 3D a triangolazione

I laser basati su questi princìpi anziché misurare il tempo intercorso tra l'uscita del raggio laser e la sua ricezione, si avvalgono della triangolazione, uno dei metodi più noti della topografia usato per misurare le coordinate di un punto inaccessibile.

Come è noto, per poter calcolare le coordinate di un punto, occorre fissare una base di lunghezza nota e misurare gli angoli che, dagli estremi della base, si formano collimando il punto di cui si vogliono conoscere le coordinate, come mostra la tav. XXVI. Come si può facilmente comprendere, se il punto è vicino, due raggi formano tra loro un angolo γ di una certa ampiezza; man mano che il punto si allontana, l'angolo in parola diventa sempre più piccolo, facendo sì che la definizione del punto di intersezione delle due rette sia sempre meno accurata.

Di conseguenza, gli strumenti laser basati su questo principio hanno una base prefissata, da un lato della quale si trova il diodo che emette il raggio laser, e dall'altro, una camera CCD permette di registrare il raggio di ritorno e misurare l'angolo che esso forma con la base. Il software dello scanner è in grado di calcolare le coordinate del punto colpito dal raggio, mediante il principio della triangolazione ottica.

Questo tipo di strumenti presenta un'operatività legata alle brevi distanze, poiché, per grandi distanze, la sua precisione è molto modesta: generalmente, il loro campo di applicazione va da pochi centimetri ad una decina di metri al massimo. Un'altra problematica presente in alcuni di questi strumenti è la presenza di una forte illuminazione, che spesso determina notevoli difficoltà per effettuare la presa.

Tra gli strumenti più noti che operano in questo campo vi è il Vivid 910, della Minolta (cfr. tav. XXVII), che è particolarmente utile per il rilevamento a brevi distanze (m $0,6 \div 2,5$) di oggetti di modesta dimensione, come bassorilievi, oreficeria, oggetti di design e in campo automobilistico. In questo caso, l'incertezza di tale strumento può essere contenuta in $\pm$ 0,05 mm.

Questi strumenti, che misurano secondo il metodo della triangolazione, hanno la particolarità di lavorare a distanze limitate dall'oggetto da rilevare, come sopra specificato, e ciò consente loro una maggiore risoluzione e una precisione molto elevata rispetto ai laser a tempo di volo.

Sul mercato sono comparsi anche laser scanner a differenza di fase, caratterizzati da un'elevata velocità; allo stato attuale, però, non è ancora accertata l'utilità del loro impiego nel rilevamento architettonico.

Le prese con il laser scanner 3D

La scansione di un'architettura con il laser scanner 3D è un processo molto simile a quello delle prese che si effettuano con una fotocamera per la fotogrammetria. La prima fase consiste nel predisporre un progetto che stabilisca le sequenze della presa, stabilendo il posizionamento del laser scanner, in una o più stazioni, rispetto al soggetto da rilevare. Come già esposto a proposito del rilevamento fotogrammetrico, il progetto di presa con il laser scanner è condizionato dalla scala di restituzione della documentazione grafica che si intende ricavare dalla scansione, anche se il laser può essere applicato con maggiore flessibilità, rispetto alla distanza dal soggetto, in relazione al tipo di strumento impiegato, senza avere sensibili variazioni nei risultati ottenuti. Ad esempio, impiegando uno strumento a tempo di volo, come il Leica Scan Station 2, si possono eseguire delle prese, posizionando il laser ad una distanza variabile tra 15 e 60 metri dal soggetto da rilevare, senza che si abbiano variazioni significative dell'incertezza. Quindi il posizionamento del laser deve essere scelto in modo da assicurare la copertura totale del soggetto effettuando una serie di scansioni che si sovrappongano l'una con l'altra per una misura di qualche metro avendo cura che ogni scansione includa i target (elementi adesivi applicati sul soggetto e scanditi ad alta definizione) (cfr. tav. XXVIII) necessari alla successiva unione dei vari modelli (Registration) (tav. XXIX).

Va ricordato che il laser scanner, per ogni punto di stazione (*scanworld*), scandisce il soggetto con una serie di impulsi laser che fuoriescono dal suo centro strumentale come in una proiezione conica (in analogia a quanto avviene con una camera fotografia) e colpiscono le parti visibili del soggetto rispetto al punto di stazione (tav. XXX); pertanto, eventuali parti aggettanti quali cornici, falde di tetto, balconi, finiscono per creare delle zone d'ombra (*gaps*) più o meno significative, in relazione al maggiore o minore aggetto rispetto al piano fondo (tav. XXXIa,b).

Un esempio tipico può essere esaminato nella tav. XXXII, relativa alla scansione del fronte del pronao del Pantheon: come si può notare, essendo la nuvola dei punti orientata il risultato di più prese dello scanner, messo in stazione a circa ml 1,8 dal piano di calpestio della piazza, la cornice della trabeazione che sporge rispetto al timpano, non consente al raggio laser di scandire totalmente quest'ultimo, tanto che sul modello, sopra la trabeazione, si nota una fascia ove mancano i dati della scansione, pertanto questa zona è indicata in colore nero per segnalare la zona non scandita dal raggio laser. Per eliminare tale mancanza di informazioni, sarebbe stato necessario fare una o più scansioni, da uno degli edifici di fronte al Pantheon ad un'altezza dal piano della piazza superiore o uguale a quella che ha la cornice della trabeazione in modo che il raggio potesse colpire anche queste zone.

Quando poi si debbano scandire elementi cilindrici, come ad esempio le colonne del Pantheon, occorre effettuare almeno tre, meglio quattro scansioni da punti diversi, in modo da essere sicuri che tutta la sua superficie considerata sia scandita.

La natura del soggetto e la scala di riduzione richiesta dalla rappresentazione influiscono sulla scelta della dimensione dei lati della griglia (densità verticale ed orizzontale dei punti) con cui lo strumento deve operare: ad esempio, una facciata con pochi elementi decorativi può essere scandita utilizzando una maglia quadrata che può variare da 2 fino a 5 cm (tav. XXXIII), mentre, per una facciata con elementi architettonici molto elaborati, la maglia può variare da 5 mm a 2,00 cm. Se si tratta di un bassorilievo o di una decorazione molto minuta, la maglia di scansione può variare da 0,30 a 0,80 cm, quando sia necessario prevedere un'incertezza molto contenuta. In questi casi può essere utile impiegare un laser scanner di maggior precisione e di diversa portata tra quelli che operano a corto raggio, e allora anche la maglia di scansione può essere ulteriormente ridotta.

Va precisato, inoltre, che di una stessa opera può essere utile effettuare una scansione generale con una maglia di lato variabile da 2 a 4 cm e successivamente si possono effettuare delle scansioni di dettaglio di eventuali elementi architettonici complessi, utilizzando una maglia il cui lato può variare da 0,3 a 0,8 cm, in modo da avere una diversificazione in relazione alle necessità di rappresentazione delle varie parti.

Nella tav. XXIII è stato riprodotto il progetto di rilevamento con laser scanner del pronao del Pantheon: come si può osservare, le prese sono state studiate in modo da assicurare la copertura di tutti i punti del fronte, ad eccezione di

quelli della cornice superiore della trabeazione non raggiungibili dalle postazioni a terra.

Poiché le singole scansioni vanno successivamente collegate tra loro e orientate nello spazio come esse si trovano nella realtà, è necessario individuare, sull'oggetto da rilevare, una serie di punti di appoggio, che risultino ben individuabili sulla scansione, attraverso il posizionamento di appositi target adesivi. È molto importante, nel posizionamento dei target, che ne venga attentamente studiata l'ubicazione, in modo che essa sia possibilmente associata a linee di discontinuità o ad altri elementi di utile riferimento e che al contempo siano disposti il più frontalmente possibile rispetto alla presa dello scanner.

I suddetti punti verranno rilevati mediante l'impiego di una stazione totale, così che siano note le loro coordinate spaziali, riferendole anche alla posizione del laser scanner al momento della scansione. Anche in questo caso occorre avere alcuni punti di appoggio, come avviene nella fotogrammetria, al fine di assicurarsi non solo dell'orientamento relativo delle varie scansioni, ma anche di quello assoluto rispetto alla verticale e all'orizzontale, al fine di garantire l'orientamento del modello rispetto ai piani di proiezione verticale e orizzontale. Inoltre, avendo di questi punti sia le coordinate rilevate per via topografica che quelle rilevate dal laser scanner, è possibile effettuare con accuratezza le operazioni di unione delle varie scansioni in un unico modello finale su cui poter iniziare le successive verifiche mensorie.

Nella tav. XXXIVa,b,c,d è riportata la nuvola dei punti orientata relativa alla scansione della cupola di San Carlo ai Catinari.

L'elaborazione dei dati acquisiti

La scansione di un'opera non esaurisce il rilevamento, poiché di per sé la nuvola dei punti, pur essendo in alcuni casi molto affascinante, nella realtà non offre all'architetto, all'archeologo o all'ingegnere, le informazioni che normalmente si richiedono ad un rilievo architettonico o archeologico, effettuato con le tecniche dirette o con la fotogrammetria. Occorre ricordare che l'architettura è fatta di superfici, anche complesse; ne consegue che i punti, per quanto numerosi, non possono sostituirsi alle superfici, che devono poter essere rappresentate, come pure le loro eventuali intersezioni. La nuvola di punti, invece, come dice l'espressione stessa, altro non è se non una serie di punti, appartenenti all'opera da rilevare, che noi abbiamo predefinito prima di avviare la scansione di cui si conoscono le coordinate. L'operatore, dunque, non è in grado di assicurare che i punti in oggetto coincidano con quelli più significativi dell'opera da rilevare. Per queste ragioni ed anche perché molti committenti richiedono un rilievo cartaceo, realizzato secondo la rappresentazione grafica tradizionale, occorre «processare» o, con parole più semplici, elaborare la nuvola per trasformarne i punti in superfici.

Uno dei metodi per compiere tale operazione è quello di utilizzare le superfici Mesh, che consentono di collegare tutti o parte dei punti rilevati con una rete di triangoli, che consente di definire le superfici che approssimano per inviluppo quelle del soggetto rilevato (tav. XXXV).

L'elaborazione della nuvola di punti in superfici mediante l'impiego delle Mesh si rende necessaria anche per un altro motivo, rappresentato dalla dimensione e dalla gestione, da parte di più software, dei file che la contengono; va infatti ricordato che la nuvola di punti è costituita da migliaia di punti, ciascuno dei quali è definito dalle sue tre coordinate cartesiane e da un dato RGB. In alcuni laser come quello che si sta descrivendo, oltre alle coordinate, viene rilevata anche l'intensità della riflettanza di ciascun punto; vale a dire che alle coordinate viene associato il valore dell'intensità del raggio nel momento in cui ritorna allo strumento. Si comprenderà in seguito l'importanza di questa informazione. In relazione a quanto sopra esposto, tutti i file prodotti dalla scansione hanno una notevole dimensione: possono cioè aversi file anche di diverse centinaia di Gigabyte (Gb), la cui gestione comporta la necessità di lavorare con computer piuttosto performanti e, inoltre, su file di dimensioni più ridotte, per poter ottimizzare i tempi.

Tutte queste considerazioni suggeriscono la possibilità di operare con diverse modalità: sia attraverso elaborazioni sulla nuvola di punti, con la successiva trasformazione in superfici Mesh, sia attraverso l'immediata trasformazione della nuvola in superficie Mesh. In entrambi i casi si possono effettuare delle elaborazioni selettive, in cui non si modificano i

dati in prossimità di superfici molto articolate, mentre è possibile effettuare diradamenti (sia di punti che di Mesh) di zone in cui non sono presenti discontinuità. Questa operazione, se condotta in modo appropriato, può consentire il raggiungimento di un doppio risultato: il primo è la definizione delle superfici del soggetto attraverso una serie di triangoli che, per approssimazione, possono definire piani, cilindri, coni e superfici di rotazione; il secondo è quello di ottenere file più leggeri e/o più gestibili da vari software, compresi quelli di modellazione. Il passaggio dai punti alle superfici permette di definire in modo corretto la geometria del soggetto; inoltre, da tale tipo di modello si potranno altresì ricavare le sezioni e tutte le altre rappresentazioni abitualmente impiegate nel rilevamento. Il modello così ottenuto viene definito geometrico o matematico da alcuni autori. Ovviamente, la qualità del risultato dipende dall'abilità di colui che effettua l'operazione sopra descritta (tav. XXXVI), per la quale si usano dei software che permettono di passare, in modo quasi automatico, dalla nuvola di punti (tav. XXXVII) alle Mesh (tav. XXXVIIIa,b) in modo rapido e con buona precisione; tra i software più diffusi vi sono Rapidform, Geomagic ed altri che offrono la possibilità di importare la nuvola di punti prodotta dal laser, esportata con formati generici (.pts, .asc, .dxf, .ptx, .xyz, .stl ed altri), di decidere il tipo di decimazione e di organizzazione dei punti da scegliere (tav. XXXIXa,b,c) e anche di definire i piani di appartenenza degli stessi, onde poter definire anche gli spigoli (rette) di intersezione di diversi piani.

È possibile, però, seguire un percorso diverso da quello fin qui ipotizzato per il passaggio dalla nuvola dei punti alle superfici: si tratta di intersecare la nube dei punti con piani scelti in modo strategico, al fine di ottenere una serie di sezioni (tav. XL); utilizzando le stesse, ottenute dalla nube di punti, è possibile trasformarle, come se fossero curve direttrici e generatrici, per realizzare una superficie NURBS (Non Uniform Rational B-Splines); questa operazione può essere condotta impiegando software modellatori, che dispongono della funzione NURBS, come ad esempio Rhinoceros (tav. XLI).

Le superfici possono essere definite da polinomi in forma parametrica, con i quali è possibile descrivere e rappresentare superfici di qualsiasi forma, sia quelle canoniche della geometria classica, sia le cosiddette *free form*.

La superficie modellata del soggetto architettonico o archeologico può essere successivamente proiettata su piani orizzontali e verticali, al fine di ottenere una rappresentazione tradizionale, con piante, prospetti, sezioni ecc. (tav. XLII).

Dopo aver costruito il modello virtuale di un'opera architettonica (rilievo) o di un manufatto ancora da realizzare (progetto), è possibile intervenire sulle sue qualità lineari, tonali e cromatiche, al fine di renderlo estremamente realistico. L'insieme delle operazioni finalizzate a ottenere una resa figurativa realistica, definito *rendering*, viene sviluppato con un software «dedicato», che è normalmente compreso nello stesso programma di modellazione; tuttavia, quando le esigenze di resa figurativa sono particolarmente elevate, come accade nel campo della progettazione, sia essa ingegneristica, architettonica o di design, si può ricorre a programmi di rendering estremamente sofisticati, disponibili sul mercato separatamente.

La verosimiglianza che si è in grado di ottenere con questi software è ormai massima, tanto che difficilmente un occhio non esperto potrebbe distinguere un'immagine elaborata al computer da una fotografia. Ciò ha determinato un graduale ampliamento dell'ambito di utilizzo di questa tecnica: molte delle immagini accattivanti che illustrano le pagine di riviste e giornali o che compaiono in documentari e film, pur apparendo reali, non sono altro che rappresentazioni virtuali, trattate con un programma di rendering.

La successione delle operazioni di rendering può essere schematicamente così descritta: inizialmente il modello viene tassellato e ricostruito per elementi poligonali triangolari o quadrangolari piani; quindi esso è proiettato sul quadro, per ottenere una rappresentazione prospettica, assonometrica od ortogonale, a seconda delle esigenze (tav. XLIII). Nella fase successiva il programma determina, per la rappresentazione scelta, quali siano le superfici visibili dall'osservatore; infine, tali superfici sono trattate per conferire loro quelle qualità di grana e colore e quegli effetti di ombreggiatura, trasparenze e riflessioni, che nell'insieme permettono di ottenere rappresentazioni estremamente realistiche e di elevata qualità (tav. XLIV).

Con i programmi di rendering, infatti, le superfici possono essere caratterizzate fino a simulare, in modo perfetto, non solo i diversi tipi di materiali che compongono l'oggetto rappresentato, ma anche le condizioni di illuminazione. I limiti fondamentali di questi software risiedono, ormai, solo nella lunghezza dei tempi di calcolo e nella loro applicabilità esclusivamente a modelli tridimensionali poligonali; perciò, in ogni caso, la fase di restituzione deve essere sempre preceduta da una fase di conversione geometrica del modello.

Nel rilevamento dell'architettura o dell'archeologia, può essere talora utile eseguire il rendering dell'opera rilevata, per restituire un'immagine più realistica; ciò risulta particolarmente efficace nel settore dell'archeologia, nel quale occorrono *letture* molto approfondite del rilevamento (cfr. tav. XXXV).

La riflettanza

Va ricordato che con il termine riflettanza si indica la quantità di energia che un determinato punto di una superficie, colpito da un raggio laser luminoso, rinvia nello spazio in tutte le direzioni. Tra i vari raggi riflessi, uno ritorna all'interno del laser scanner, consentendo allo strumento di misurarne l'intensità; tale valore può essere associato al punto rilevato, come ulteriore informazione rispetto alle sue coordinate. Va anche ricordato che l'intensità del raggio riflesso è correlata all'angolo con cui il raggio stesso colpisce la superficie e tale valore è tanto maggiore quanto più il raggio è prossimo alla perpendicolare della superficie.

In teoria, se una superficie realizzata con materiale omogeneo viene colpita da un raggio laser, tutti i suoi punti dovrebbero riflettere il raggio con pari intensità; nella pratica, però, accade che si riscontrino piccole o grandi differenze tra i diversi punti della superficie e ciò a causa del diverso comportamento dei punti dello stesso materiale colpiti dal raggio laser (tav. XLV). Va anche ricordato che il materiale impiegato in architettura è generalmente distanziato da giunti realizzati con malta ed anch'essi concorrono a far variare la riflettanza. Se, infatti, si osservano i dati registrati della riflettanza su una parete pur costituita dallo stesso materiale, ci si accorge che i valori cambiano, sia per effetto di piccole differenze di comportamento tra punto e punto della stessa natura, sia per la presenza di giunti di diversa natura, sia, infine, per le diverse condizioni dei punti per effetto dell'umidità ecc.

Ovviamente, differenti valori della riflettanza di per sé non rivestono un particolare significato, ma se punti della stessa natura danno riposte diverse, vi è evidentemente una ragione che induce il materiale a comportarsi in quel certo modo, la conoscenza della quale può gettare luce su aspetti particolari relativi allo stato delle superfici. Tenuto conto che i valori rilevati dallo scanner possono essere associati a colori diversi, che vanno dal rosso, per i valori con riflettanza maggiore, al blu, per quelli con riflettanza minore, è immediatamente possibile percepire visivamente le differenze; quindi, partendo da questi dati, resi visibili dal colore, si possono avanzare delle ipotesi interpretative sul comportamento di una determinata superficie.

Ricordando che analisi di questo tipo sono tra le prime che si vanno eseguendo nel campo dell'architettura, non sono ancora disponibili tabelle che informino sulla diversa risposta dei differenti tipi di materiali impiegati in architettura. Pertanto, per analisi più approfondite in merito, occorre rimandare a quando si disporrà di dati più precisi. Con il progredire delle ricerche in questo settore e con la codifica della risposta dei differenti materiali, sarà più semplice avanzare delle ipotesi interpretative.

È presentato, qui di seguito, il risultato di alcuni studi da noi effettuati su differenti superfici, che consentirà di sviluppare in modo più puntuale le osservazioni fin qui effettuate.

Il rilevamento della riflettanza della superficie interna della cupola principale della basilica di Hagia Sofia, a Istanbul, mostra come l'intradosso della cupola, pur costituito dallo stesso tipo di materiale, mosaico ed intonaco, presenti differente valori reattivi alla riflettanza in diverse zone, come indica la colorazione, che passa dal blu scuro, dove si ha una minore riflettanza, al verde chiaro, fino a giungere, in alcuni punti, quasi al giallo, dove la riflettanza è maggiore (tav. XX).

La causa di questo diverso comportamento va probabilmente ricercata sia nei diversi interventi ricostruttivi subiti dalla cupola a seguito di crolli parziali, sia nei conseguenti apporti di materiale sull'intradosso, per raccordare parti della cupola preesistente con quella ricostruita. Verosimilmente, i differenti tipi di malta impiegata e le eventuali variazioni di

spessore dell'intonaco sull'intradosso della cupola possono aver determinato le variazioni di riflettanza rilevate. Per avere maggiori informazioni, occorrerebbe effettuare rilevazioni con il georadar nei punti ove si notano le maggiori differenze, in modo da verificare la stratigrafia e lo spessore dei materiali impiegati. In ogni caso, sembra particolarmente significativo aver individuato le zone dell'intradosso della cupola di Hagia Sofia dove avviene una forte variabilità della riflettanza rispetto alla gran parte della restante superficie. Un altro aspetto significativo, messo in evidenza dalla riflettanza, è che le zone a maggiore assorbimento (colore blu) sono in prevalenza concentrate in prossimità del piano di imposta e in una parte in cui la cupola è stata ricostruita. Si può osservare, infatti, che, dopo l'ultimo crollo di circa un quarto della cupola, la conseguente ricostruzione, a contatto con il grande arco d'ingresso, ha dovuto raccordarsi con la restante cupola e proprio in questa parte vi è prevalenza di assorbimento del raggio, a conferma, molto probabilmente, della presenza di intonaco per raccordare le due parti, quella nuova e quella vecchia.

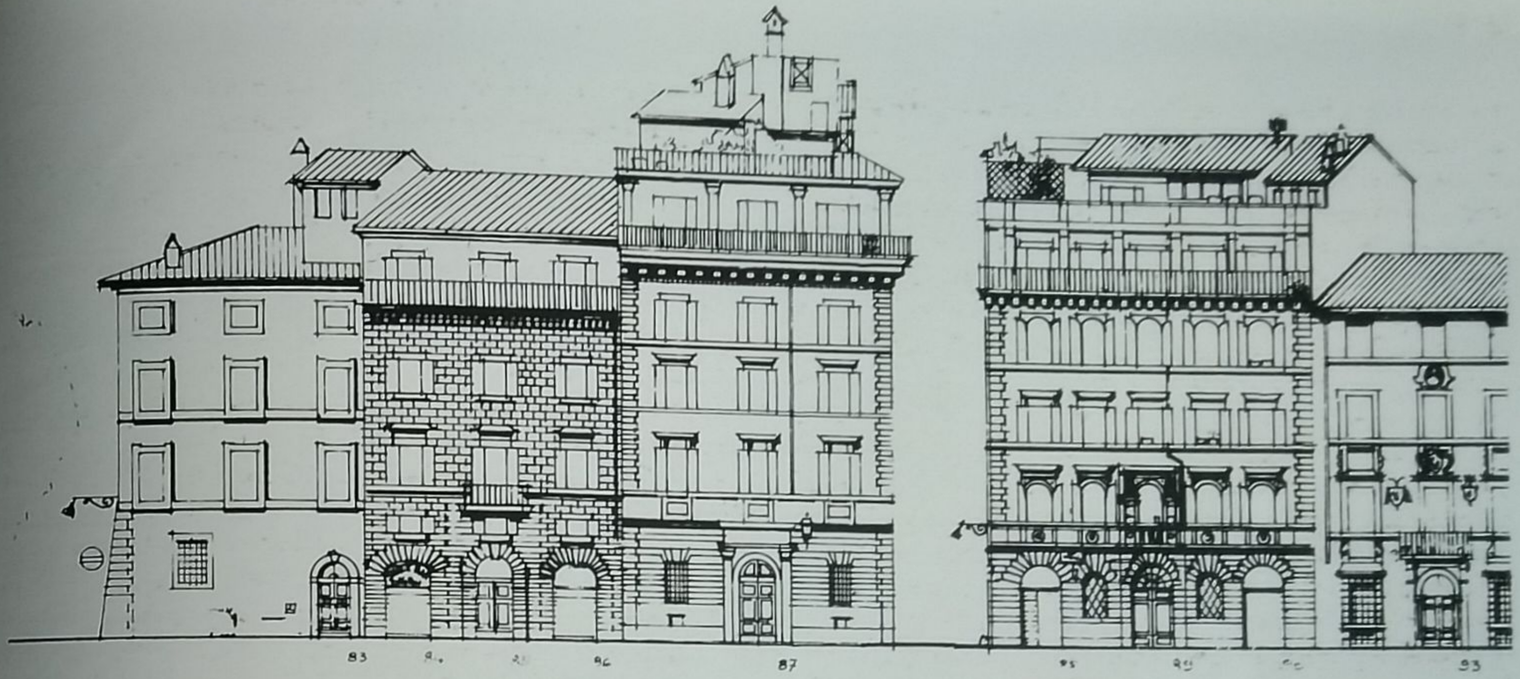
Un casistica molto diversa è stata riscontrata nel rilevamento del fianco sinistro del pronao del Pantheon, esattamente nella zona interessata dalle paraste di marmo. Come si può osservare nella visualizzazione della riflettanza fornita dalla tav. XLVI, lo stesso materiale fornisce differenti risposte alla riflettanza del raggio laser: vi è una parte in cui la riflettanza è minore (colore blu) rispetto a tutto il resto della parete (colore verde). Una verifica effettuata sul posto ha evidenziato fenomeni di disgregazione del marmo per effetto delle piogge acide, a causa delle quali il materiale in queste zone è meno compatto rispetto alle restanti parti, fornendo una risposta meno efficace alla riflettanza.

Questa esperienza appare molto interessante, poiché mette in evidenza come la riflettanza possa segnalare il degrado superficiale di alcuni materiali, ad esempio là dove il marmo è meno compatto, aprendo nuove prospettive per le applicazioni del laser scanner.

Che differenti materiali forniscano risposte diverse sotto l'azione del raggio laser, risulta un'utile constatazione, che permette di evidenziare, in alcuni casi di murature, siano esse in mattoni o in pietra, i giunti di malta. Non sempre, però, è possibile rilevare questo fatto. Talora, infatti, il giunto di malta è molto sottile oppure è stuccato in modo accurato; in situazioni di questo tipo, il rilevamento con il laser scanner, cioè la nuvola di punti, non evidenzia la differenza tra il materiale lapideo o i mattoni dalla malta dei giunti.

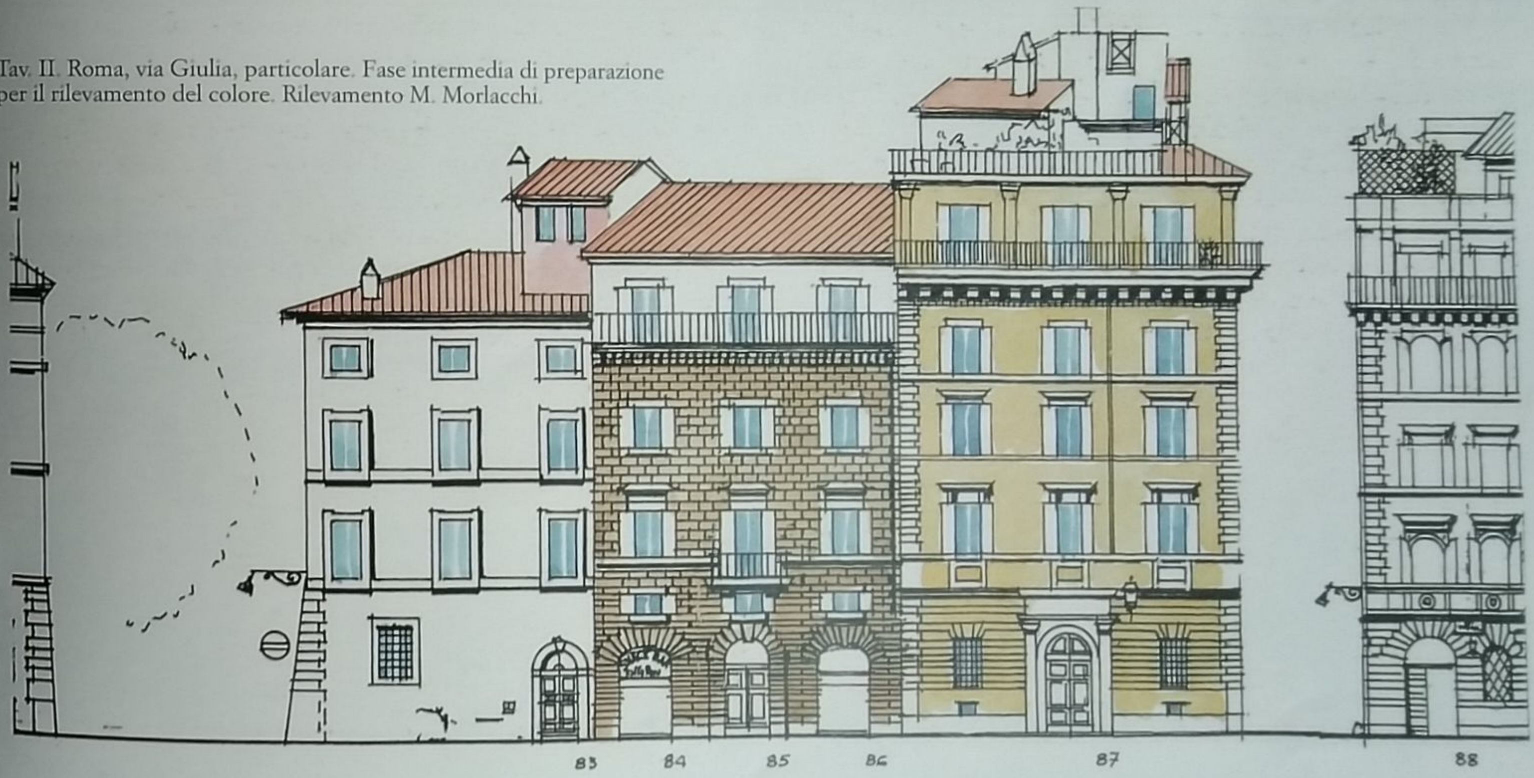
In questi casi risulta molto utile associare alla nuvola di punti il valore della riflettanza: infatti, essendo la malta un materiale molto meno riflettente della pietra e del laterizio, i giunti sono messi in risalto in modo molto preciso, consentendo una lettura puntuale delle textures (aspetto formale della superficie) della parete.

Un esempio significativo per la lettura della disposizione dei mattoni e dei giunti di malta è rappresentato dall'esperimento fatto su una piattabanda del Colosseo, come si può vedere nella tav. XLVII, dove sono messe a confronto la nuvola di punti, così come è fornita dallo scanner, e la registrazione della riflettanza; nella nuvola di punti i giunti sono praticamente invisibili, mentre, se si osserva la registrazione della riflettanza, i giunti sono ben visibili.

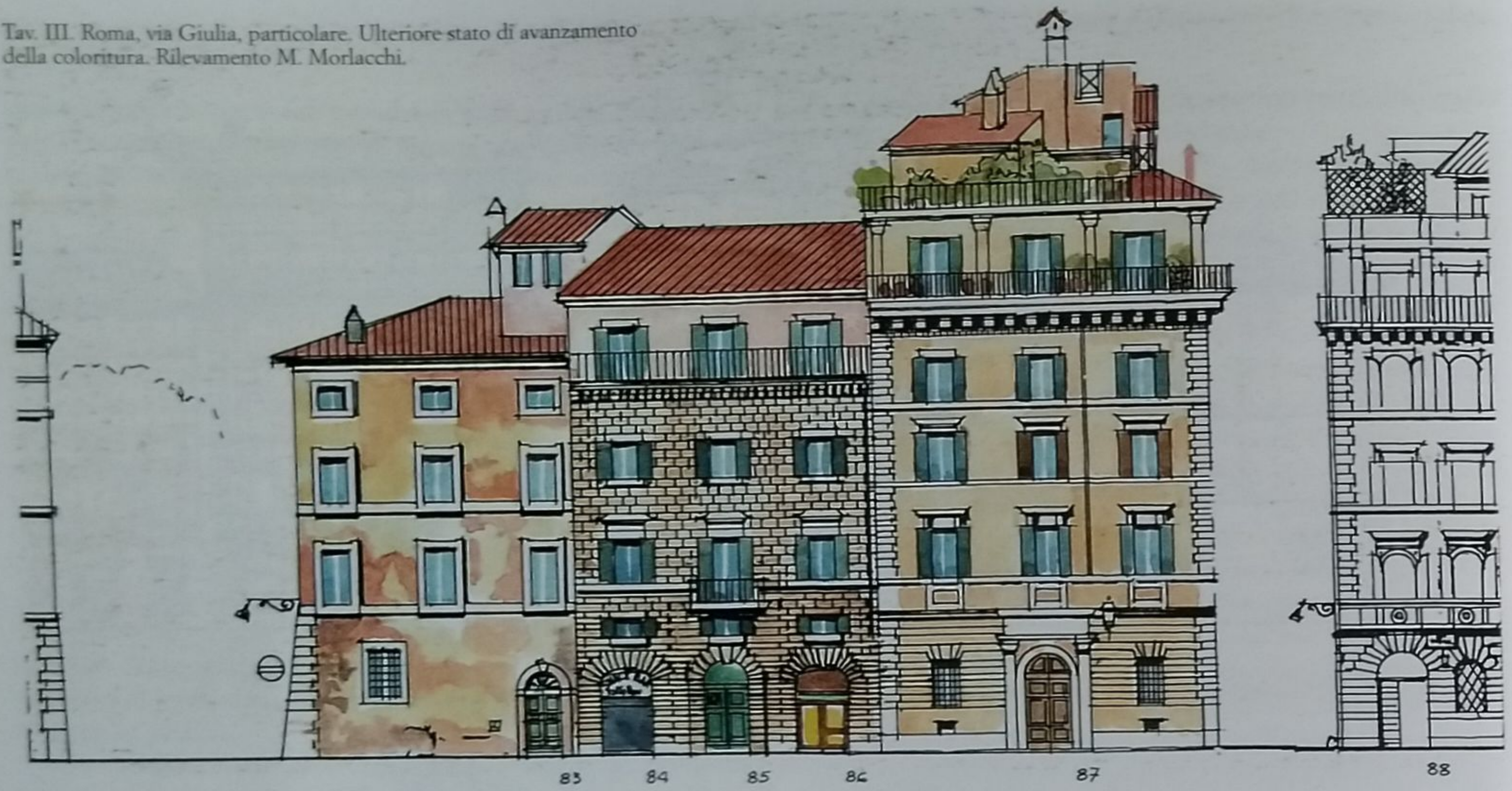


Tav. I. Roma, via Giulia, particolare. Schizzo preparatorio per il rilevamento del colore delle facciate. Rilevamento M. Morlacchi.

Tav. II. Roma, via Giulia, particolare. Fase intermedia di preparazione per il rilevamento del colore. Rilevamento M. Morlacchi.



Tav. III. Roma, via Giulia, particolare. Ulteriore stato di avanzamento della coloritura. Rilevamento M. Morlacchi.



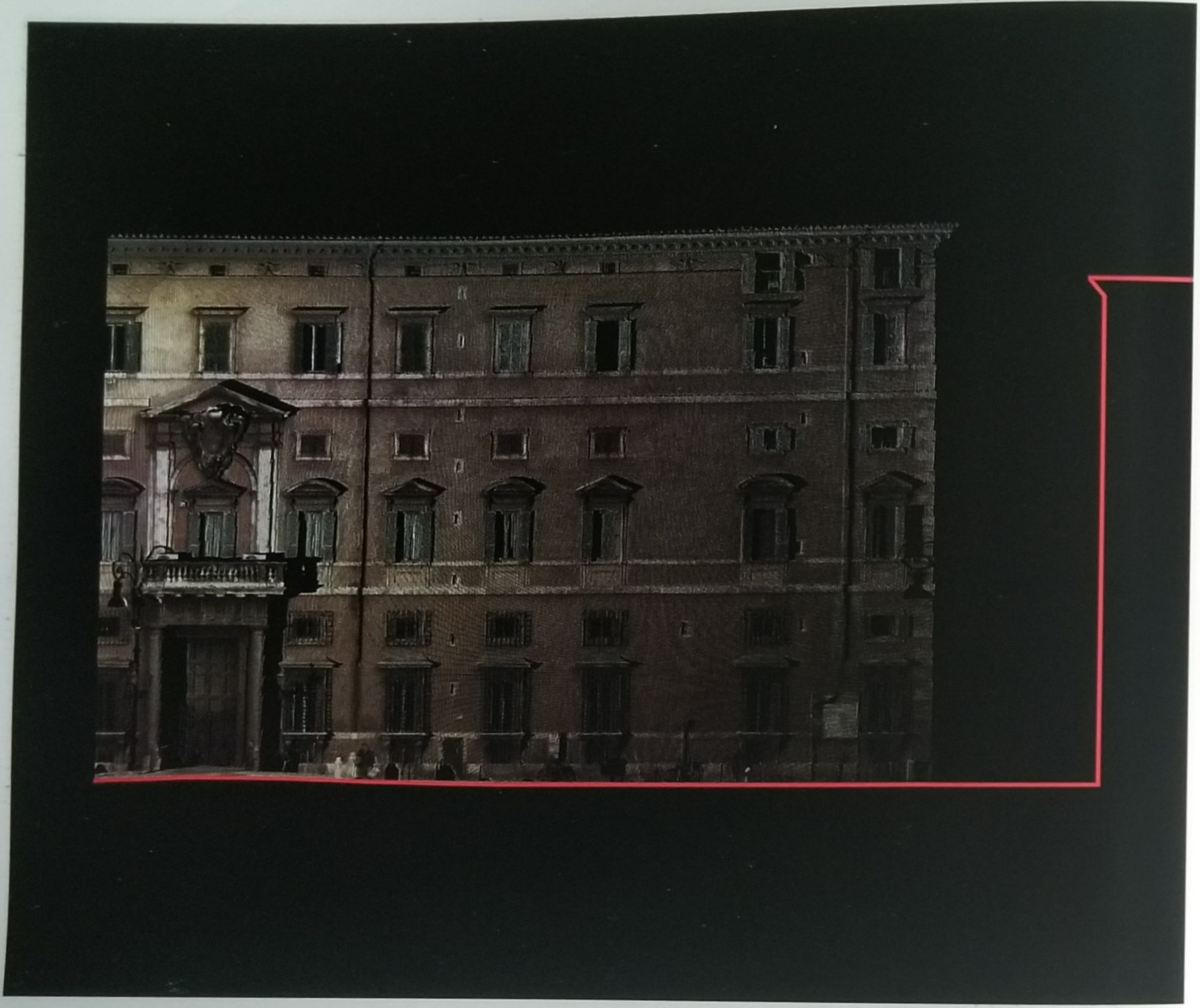
Tav. IV. Roma, via Giulia, particolare. Stesura definitiva, del particolare precedente, con l'applicazione delle ombre. Rilevamento M. Morlacchi.

Tav. V. Roma, piazza Fontanella Borghese. Visualizzazione con il Global Intensity Map della scansione della piazza. Rilevamento A. Ippolito, F. Borgogni.

Tav. VI. Roma, piazza Fontanella Borghese. Visualizzazione con il Global Intensity Map della scansione della piazza. Rilevamento A. Ippolito, F. Borgogni.

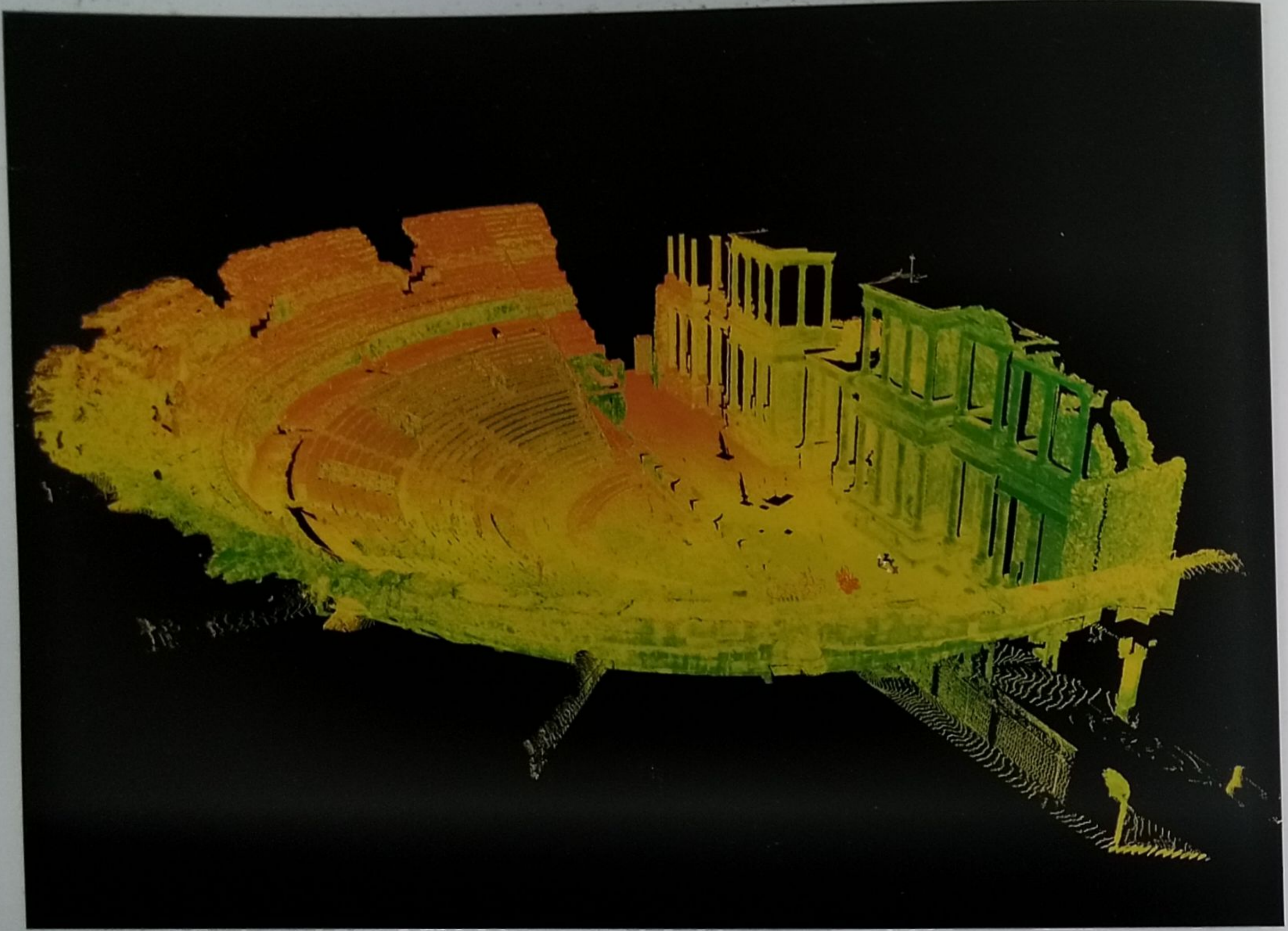
Tav. VII. Roma, piazza Fontanella Borghese. Visualizzazione con il Global Intensity Map della scansione della piazza. Rilevamento A. Ippolito, F. Borgogni.

Tav. VIII. Roma, piazza Fontanella Borghese. Proiezione della nube di punti su un piano verticale, prospetto ovest della piazza, scala 1:200. Elaborazione A. Ippolito, F. Borgogni.

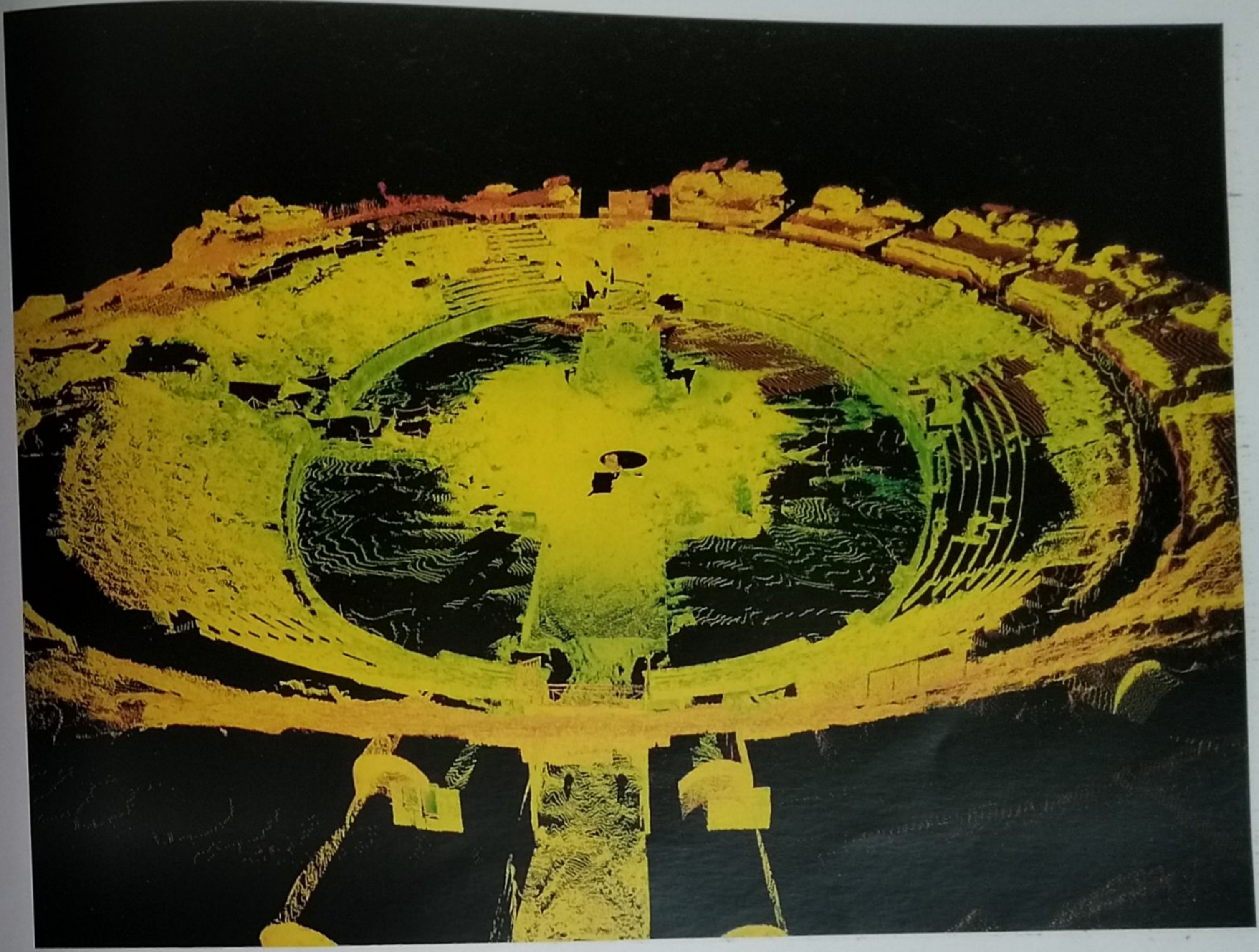


Tav. IX. Roma, piazza Fontanella Borghese. Proiezione della nube di punti su un piano verticale, prospetto sud della piazza, scala 1:200. Elaborazione A. Ippolito, F. Borgogni.

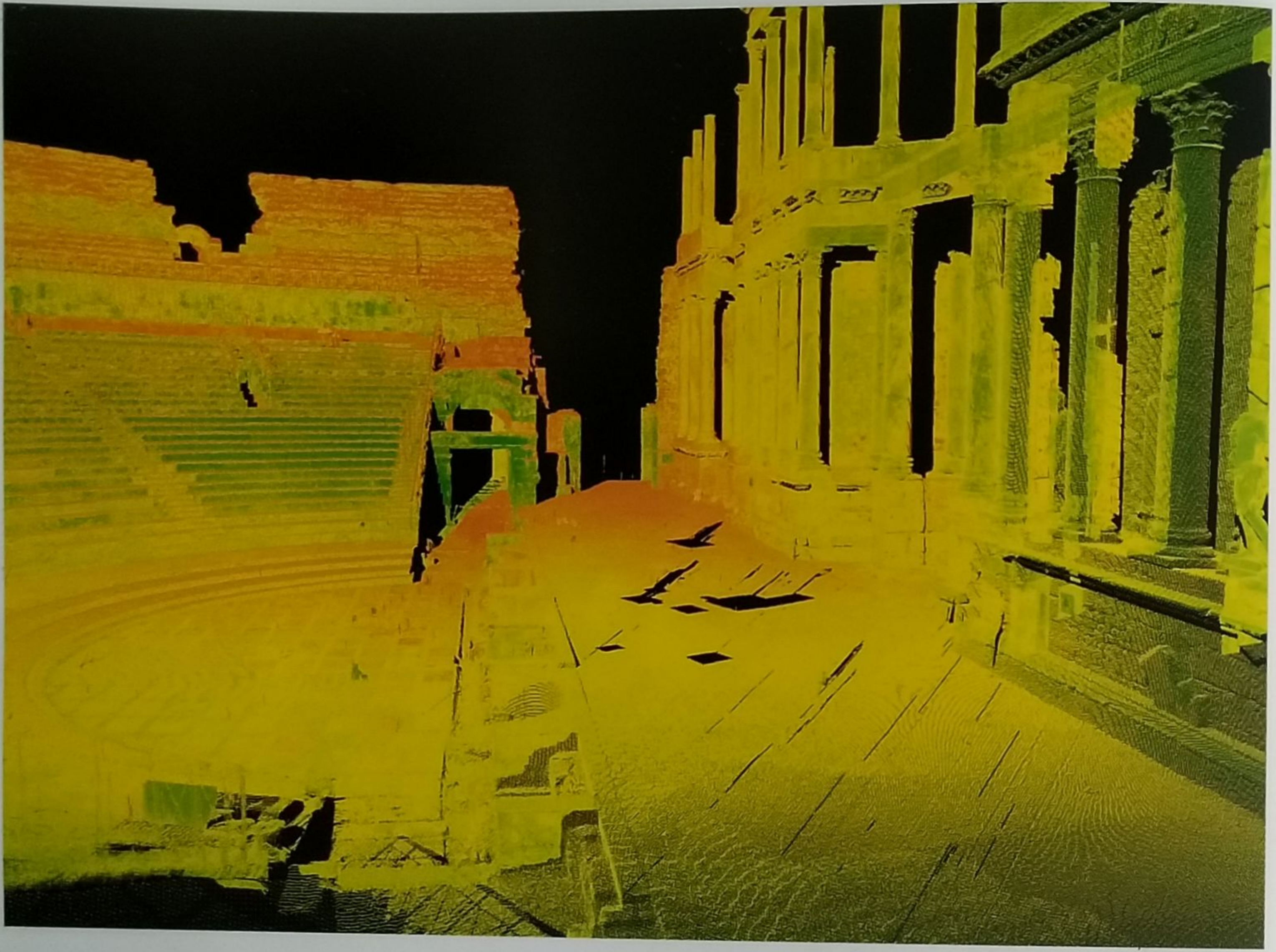
Tav. X. Orientamento teatro e anfiteatro romano della città spagnola di Mérida. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito, C. Inglese.



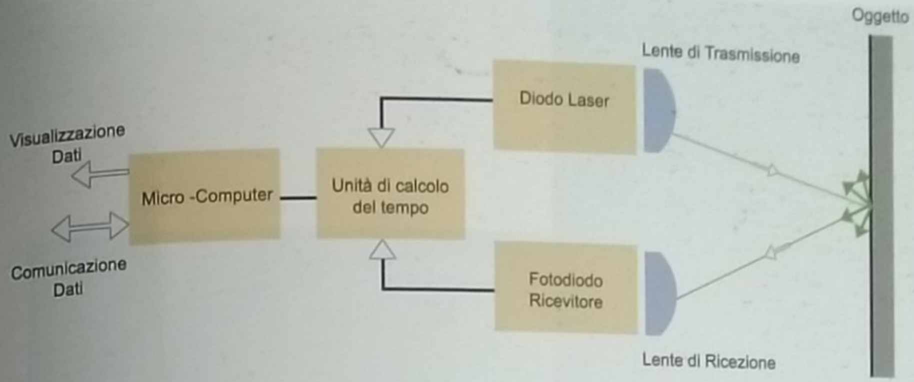
Tav. XI. Teatro della città spagnola di Mérida. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito, C. Inglese.



Tav. XII. Anfiteatro della città spagnola di Mérida. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito, C. Inglese.



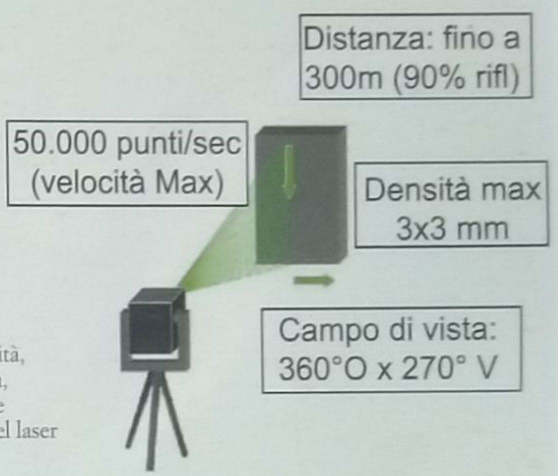
Tav. XIII. Teatro della città spagnola di Mérida. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito, C. Inglese.



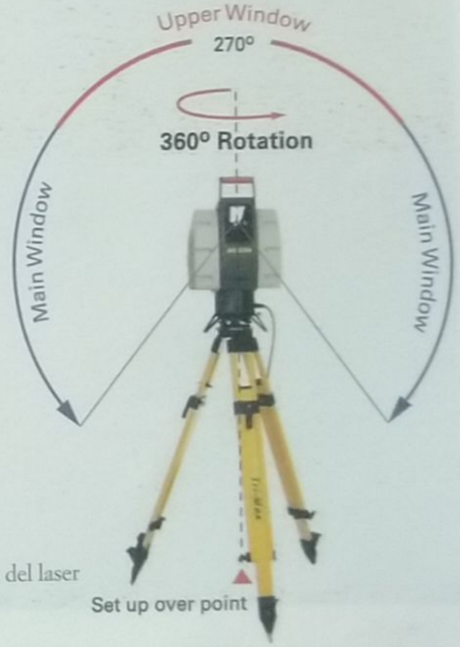
Tav. XVI. Misura, precisione e dimensione del punto laser dello strumento Scan Station 2.

Tav. XIV. Schema di funzionamento di un laser scanner 3D a tempo di volo.

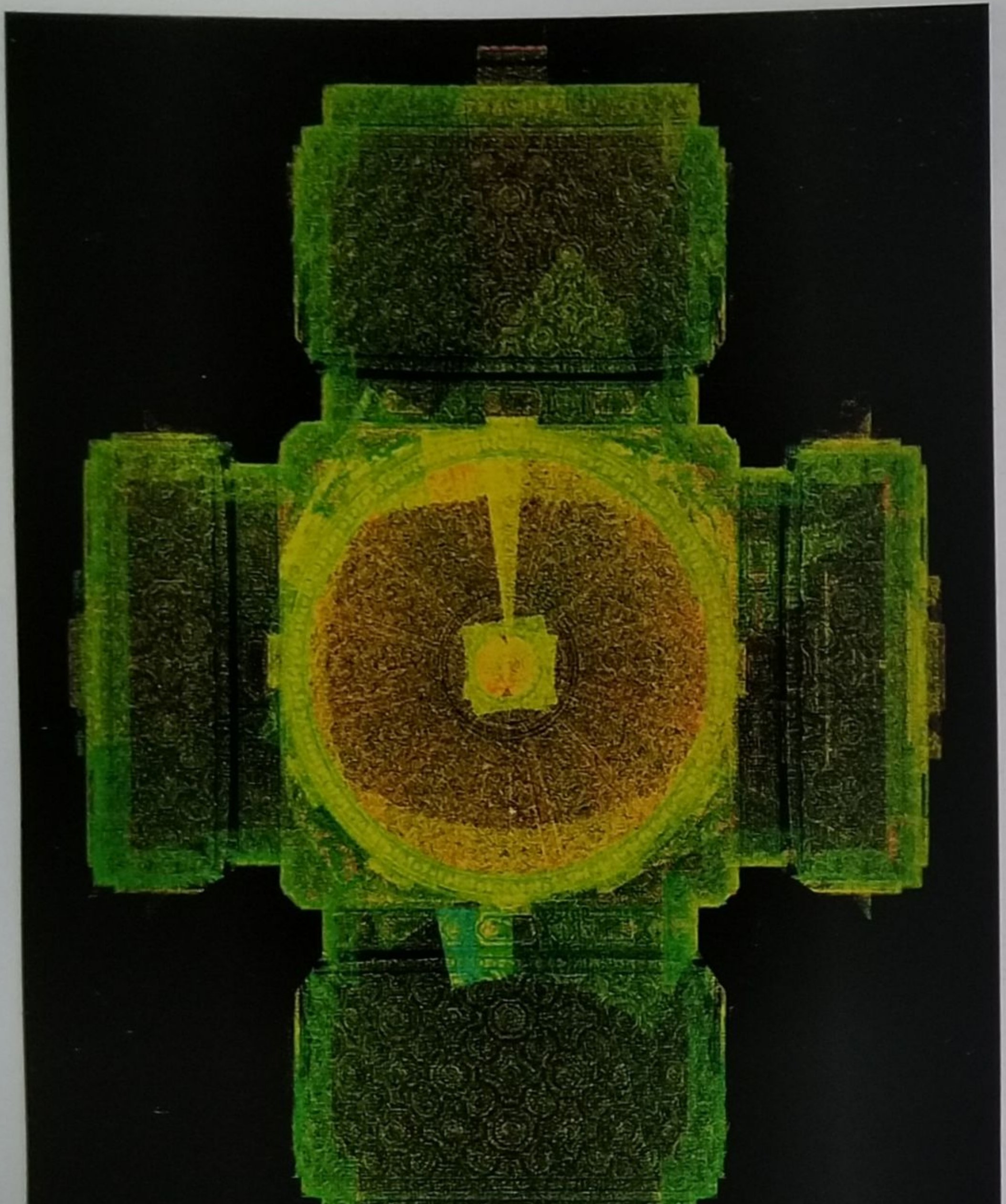
Tav. XV. Lo strumento Scan Station 2, della Leica Geosystems.



Tav. XVII. Velocità, distanza massima, densità di punti e campo di vista del laser Scan Station 2.

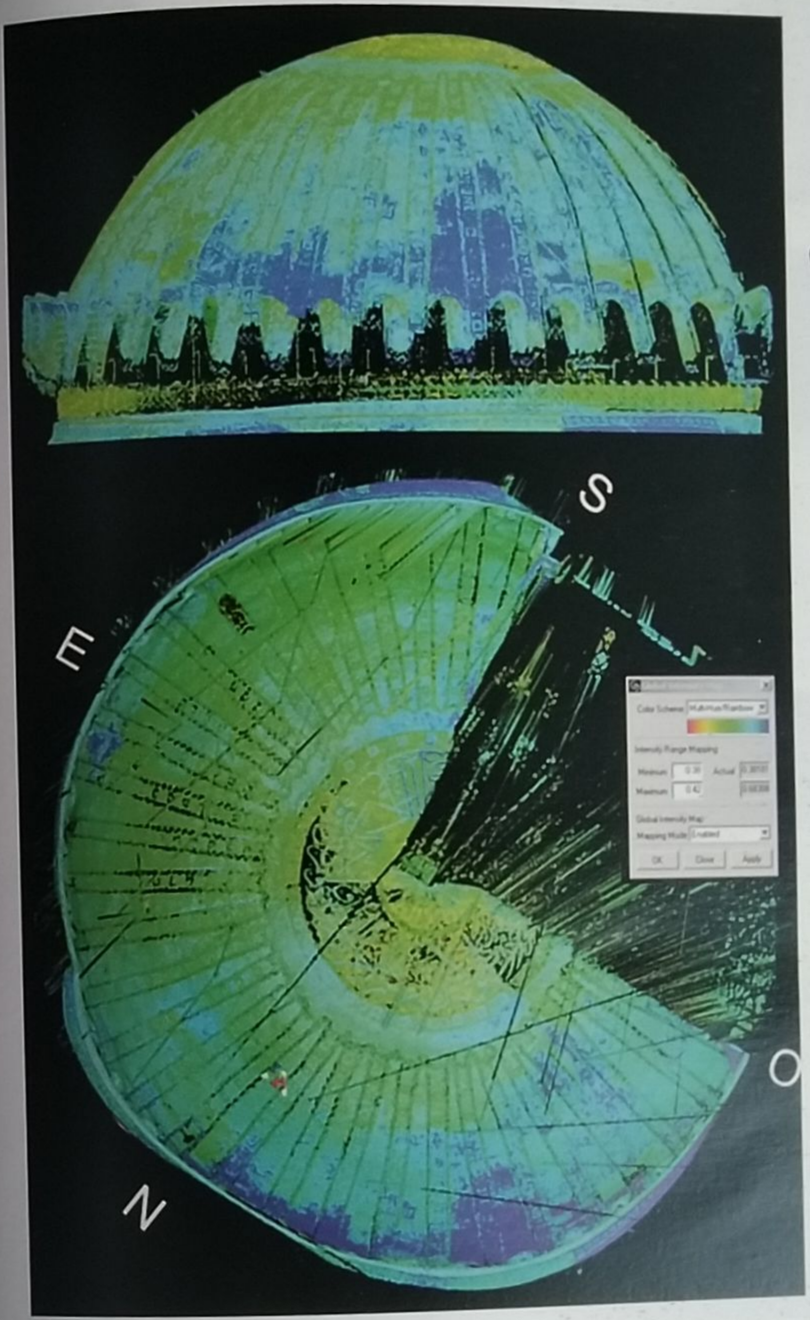


Tav. XVIII. Campo di vista del laser Scan Station 2.

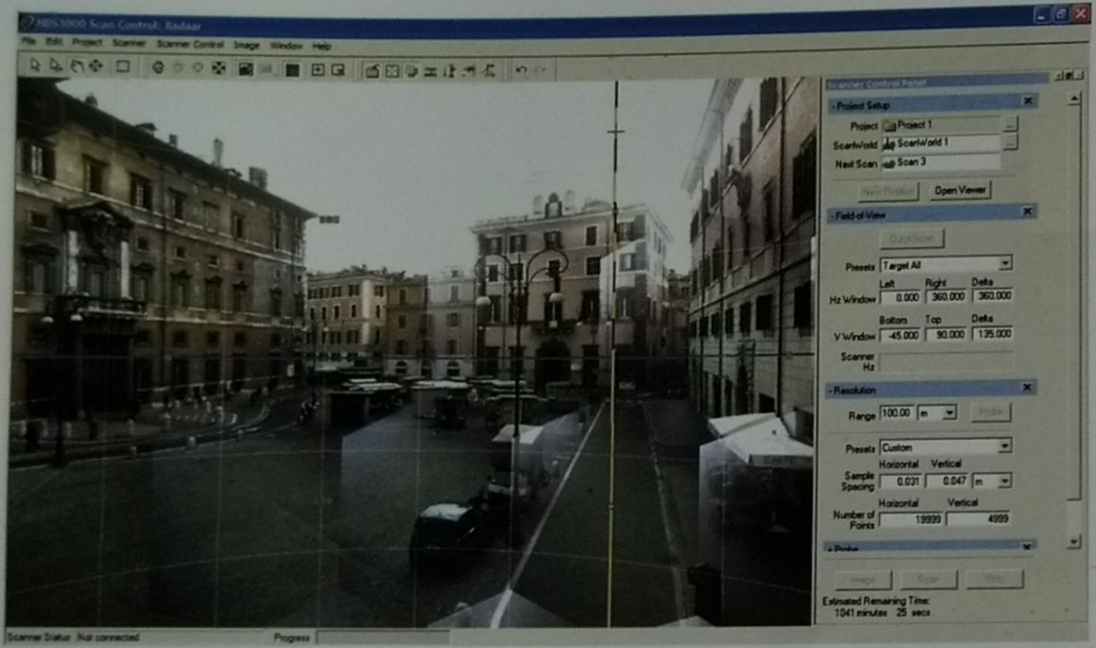


Tav. XIX. Scansione interna di cupola, transetto e porzione della navata di San Carlo ai Catinari in Roma. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito.

Tav. XXI. Personal computer portatile per la gestione dello strumento Scan Station 2.

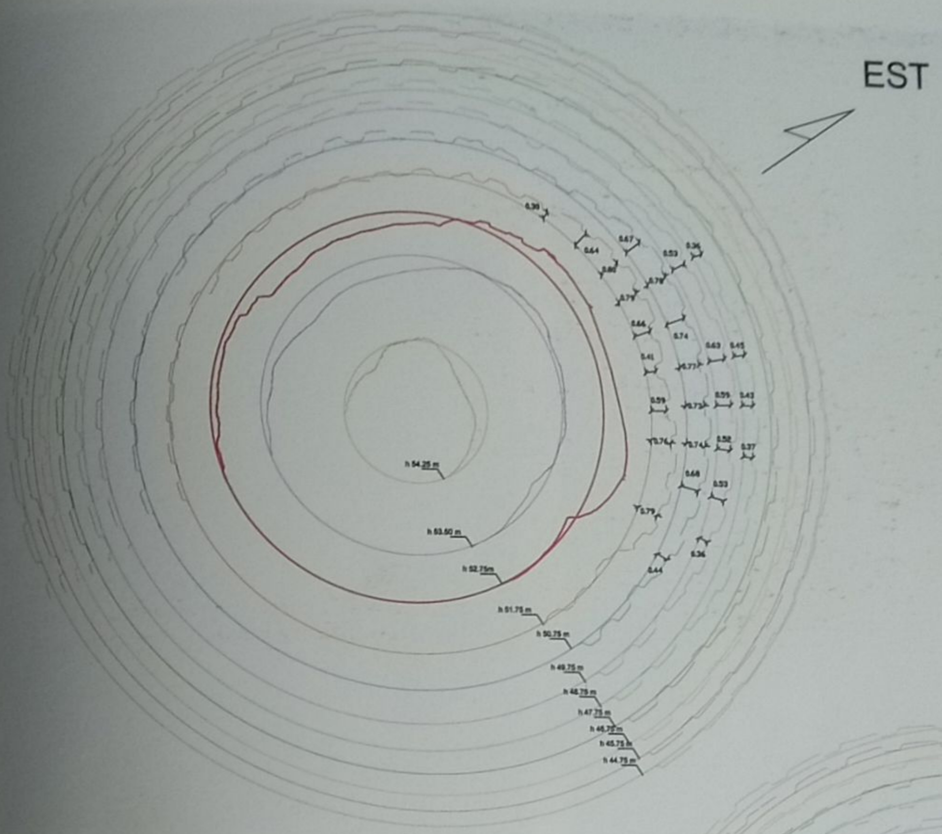


Tav. XX. Pianta e prospetto in falsi colori relativi alla riflettenza della cupola di Hagia Sophia a Istanbul. Rilevamento C. Bianchini, P. Paolini.

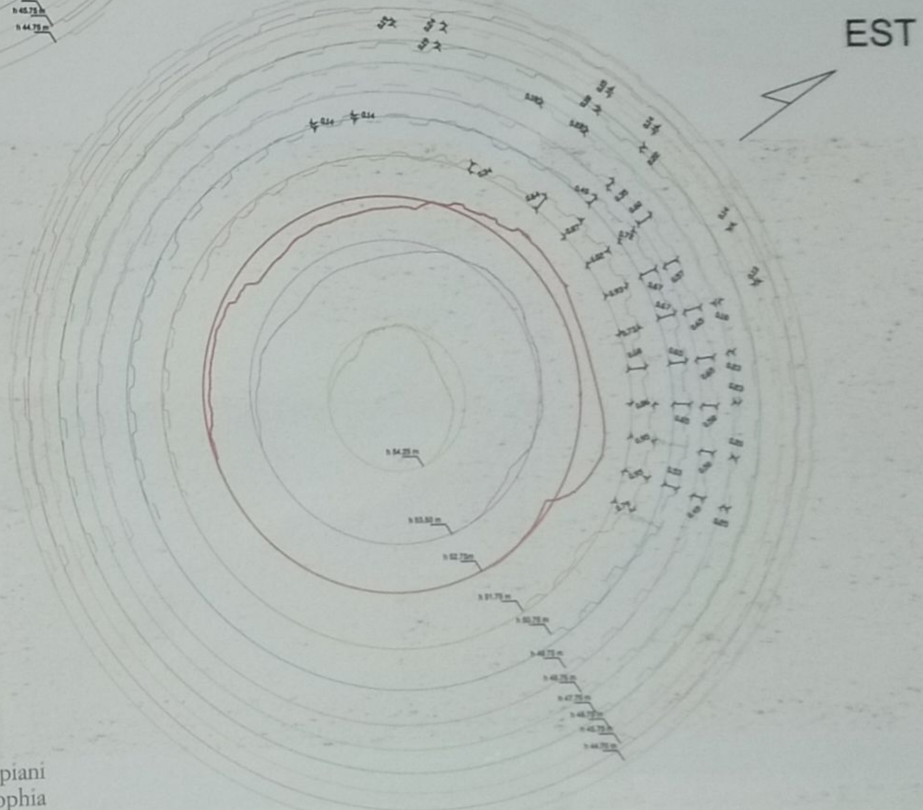


Tav. XXII. Interfaccia del software Cyclone e calcolo della distanza media dal soggetto.

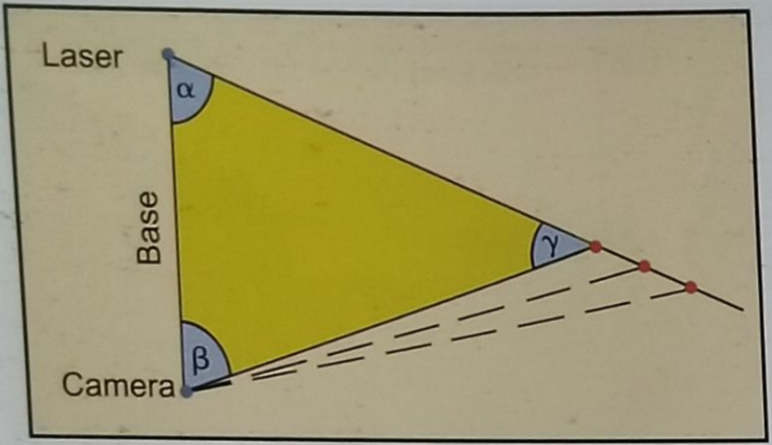
Tav. XXIII. Roma, facciata del Pantheon. Rilevamento P. Paolini.



Tav. XXIV. Studio delle deformazioni sui costoloni, con i piani orizzontali di sezione ogni metro, della cupola di Hagia Sophia a Istanbul. Elaborazione A. Ippolito.

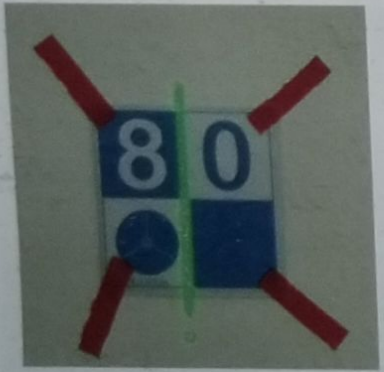


Tav. XXV. Studio delle deformazioni sulla calotta, con i piani orizzontali di sezione ogni metro, della cupola di Hagia Sophia a Istanbul. Elaborazione A. Ippolito.

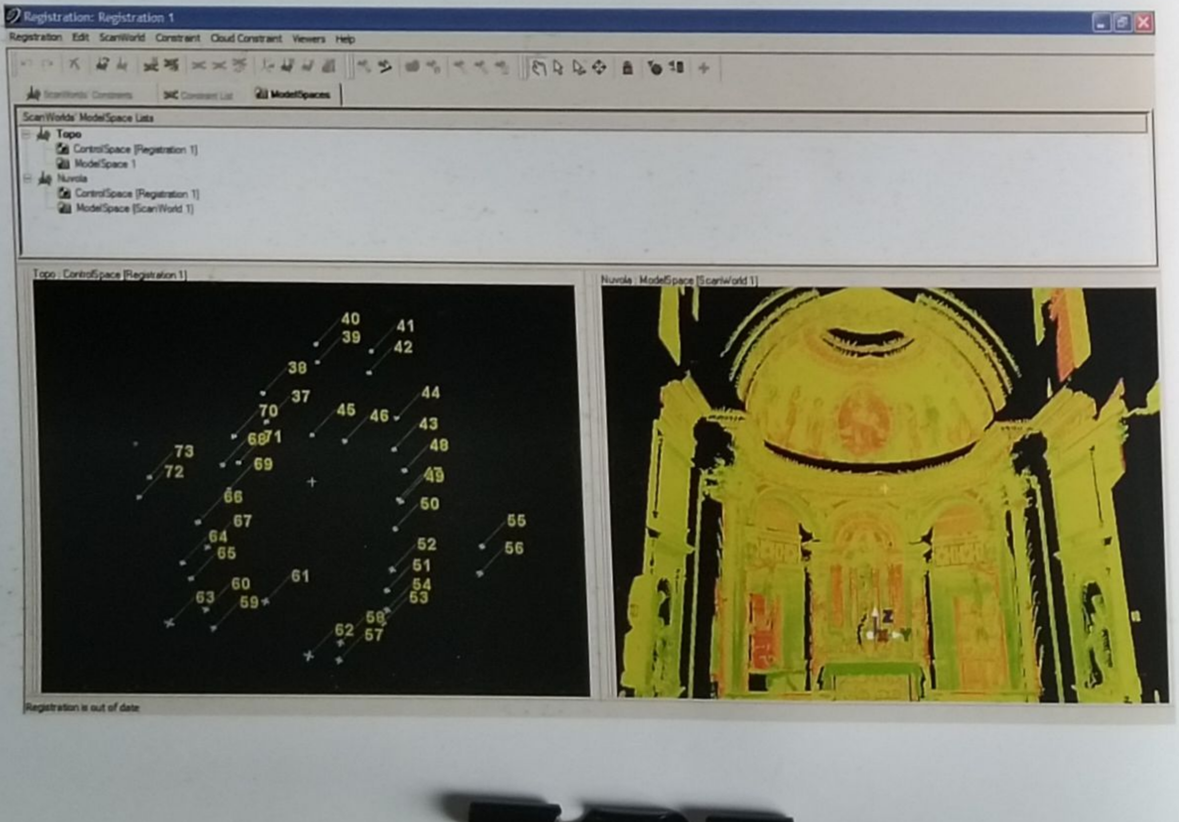


Tav. XXVI. Schema di funzionamento di uno scanner a triangolazione piana.

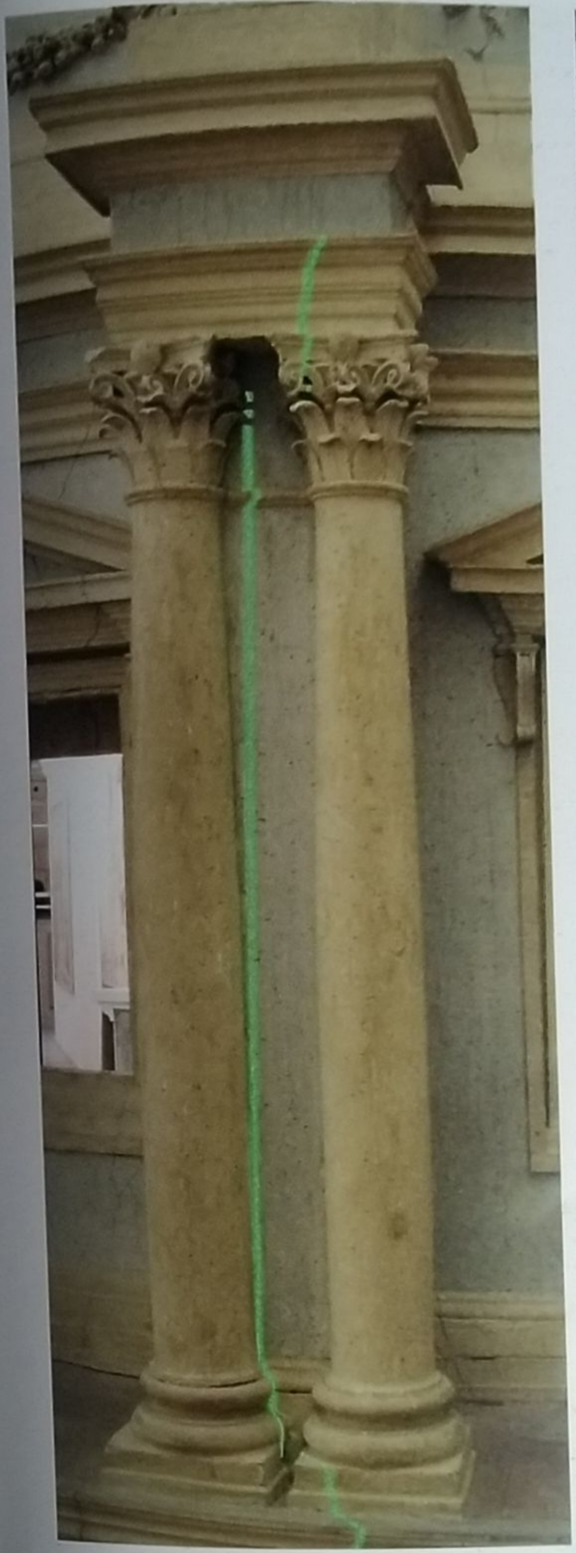
Tav. XXVII. Lo scanner Minolta Vivid 910.



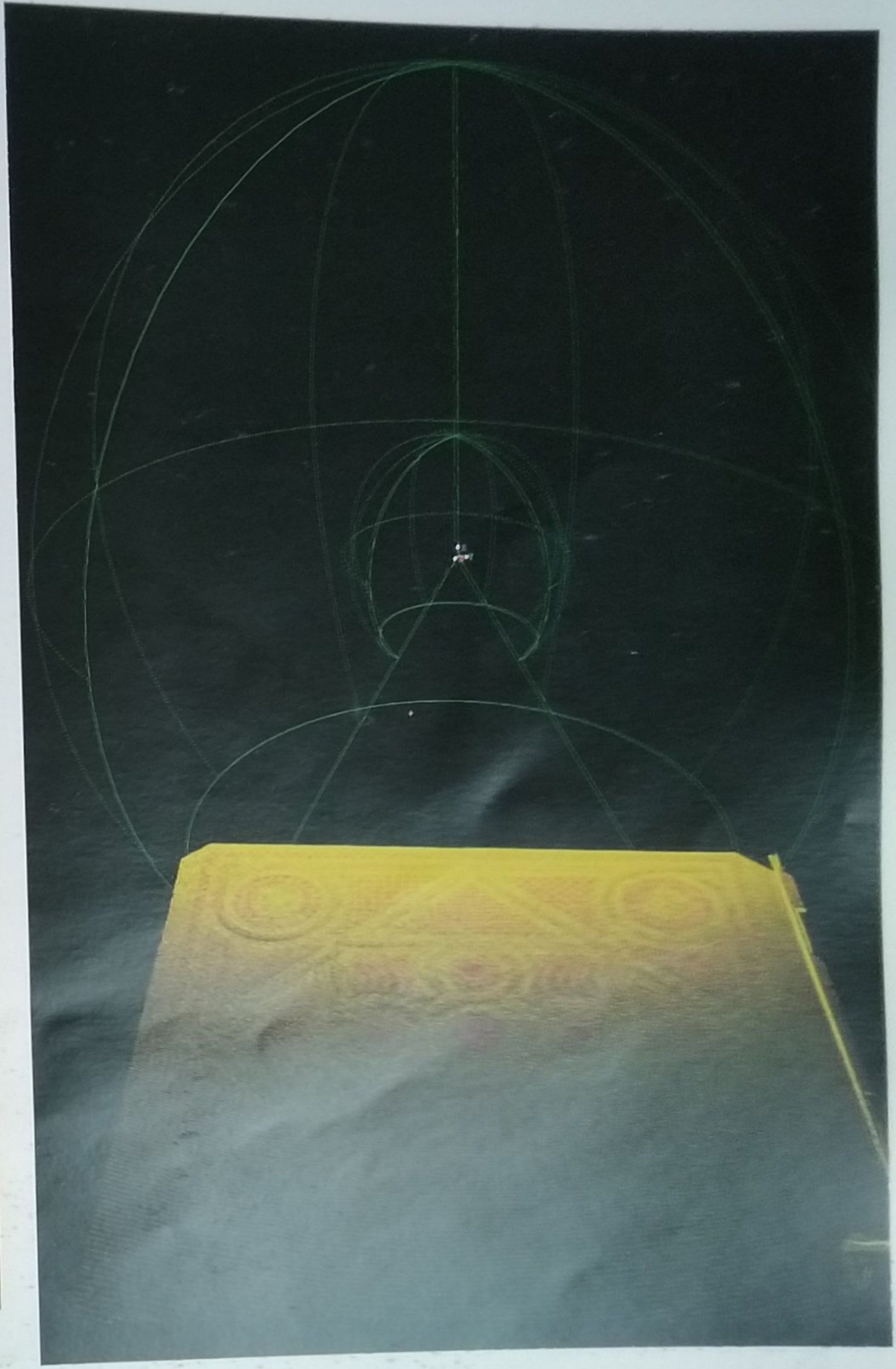
Tav. XXVIII. Scansione di un target.



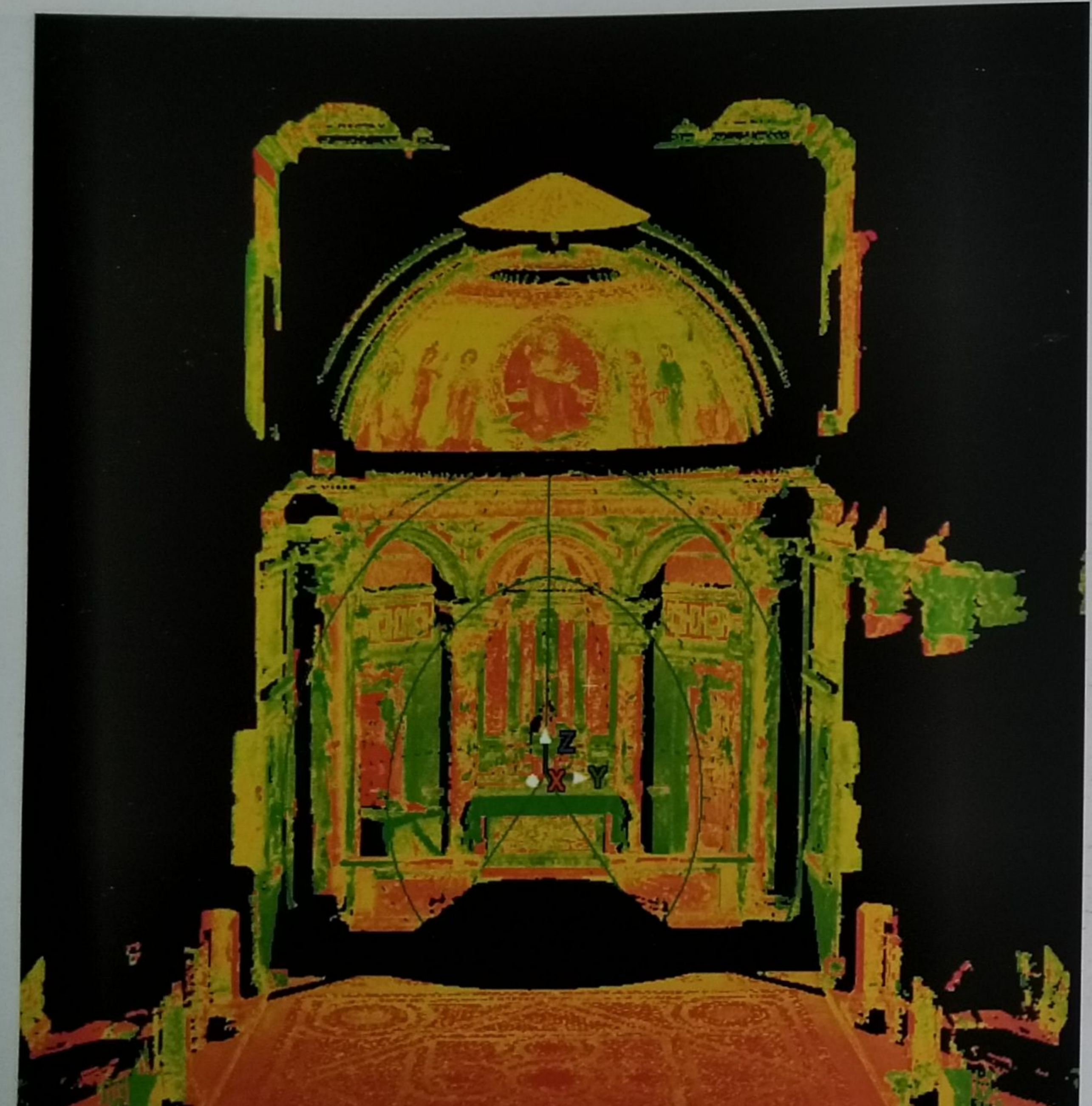
Tav. XXIX. Orientamento delle nubi di punti dell'interno di Sant'Ivo dei Bretoni in Roma. Elaborazione A. Ippolito.



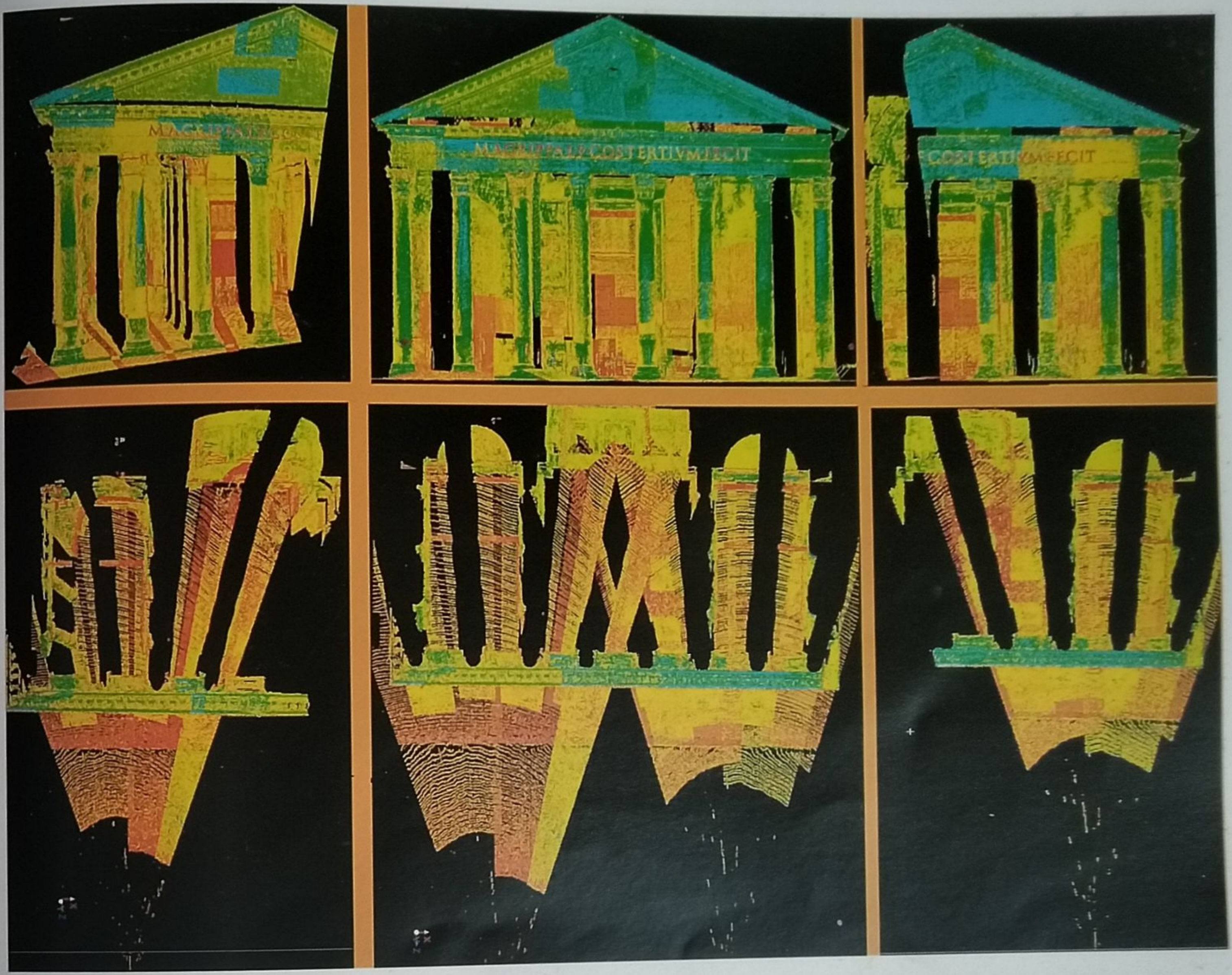
Tav. XXX. Raggio laser che colpisce una superficie architettonica.



Tav. XXXIa

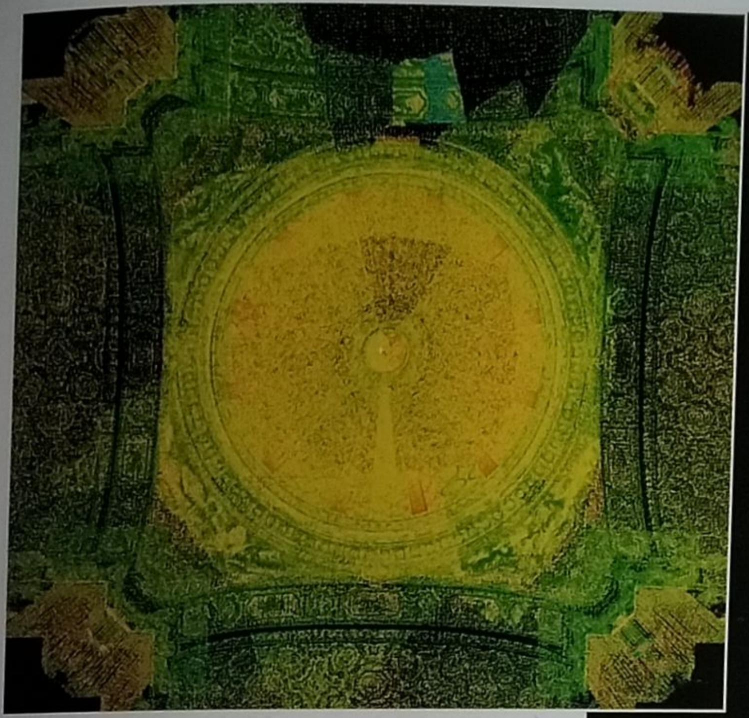


Tav. XXXIa,b. Visualizzazione delle prese dello scanner durante il rilevamento dell'interno di Sant'Ivo dei Bretoni in Roma. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito.

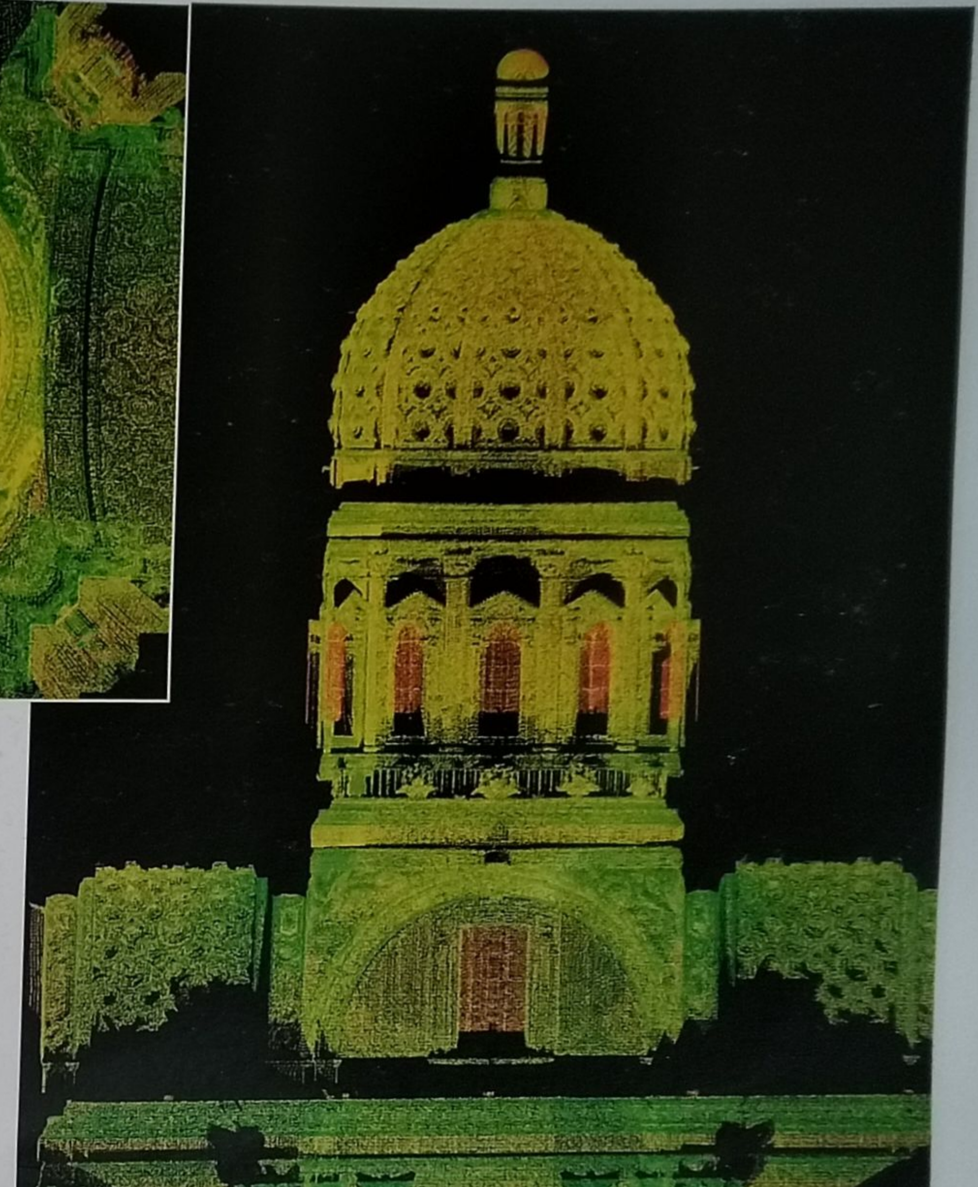


Tav. XXXII. Registrazione delle «prese informatiche» della facciata del Pantheon in Roma. Elaborazione P. Paolini.

Tav. XXXIII. Impostazione dei parametri per la scansione della Casa delle Vestali e di porzione del Foro Romano in Roma. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito.

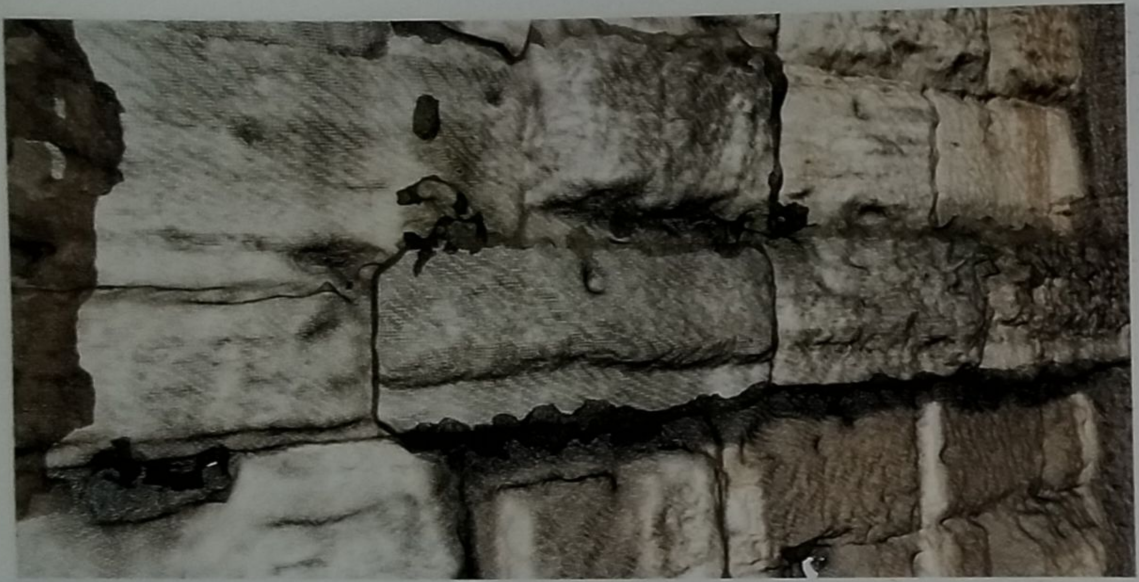


Tav. XXXIVa



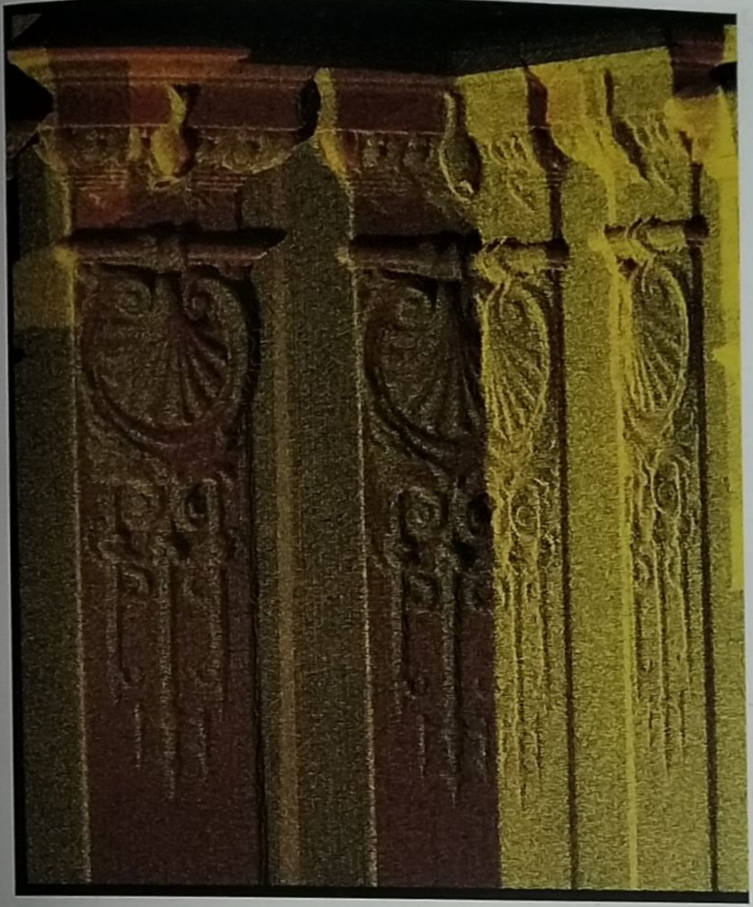
Tav. XXXIVb

Tav. XXXIVa,b,c,d. Nuvola di punti orientata dell'interno della chiesa di San Carlo ai Catinari in Roma. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito.



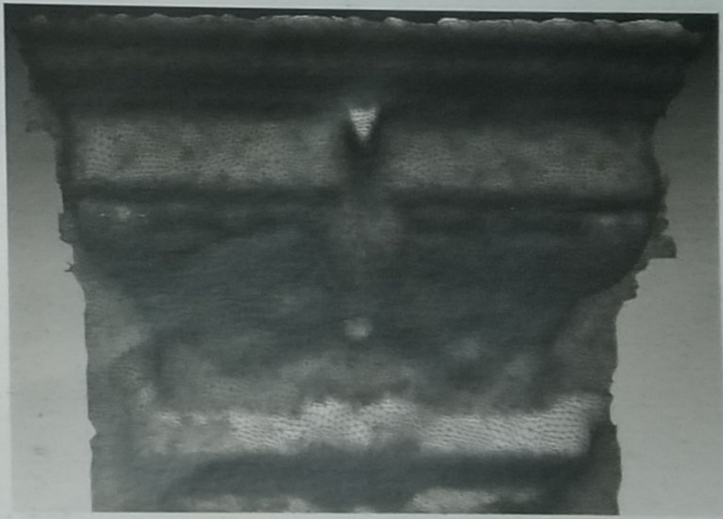
Tav. XXXV. Mesh di porzione del paramento esterno del tempio di Claudio in Roma. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito.

Tav. XXXVI. Rilevamento ed elaborazioni in superfici Mesh e NURBS del portone di Palazzo Caetani a Cisterna (Latina). Rilevamento ed elaborazioni A. Ippolito.



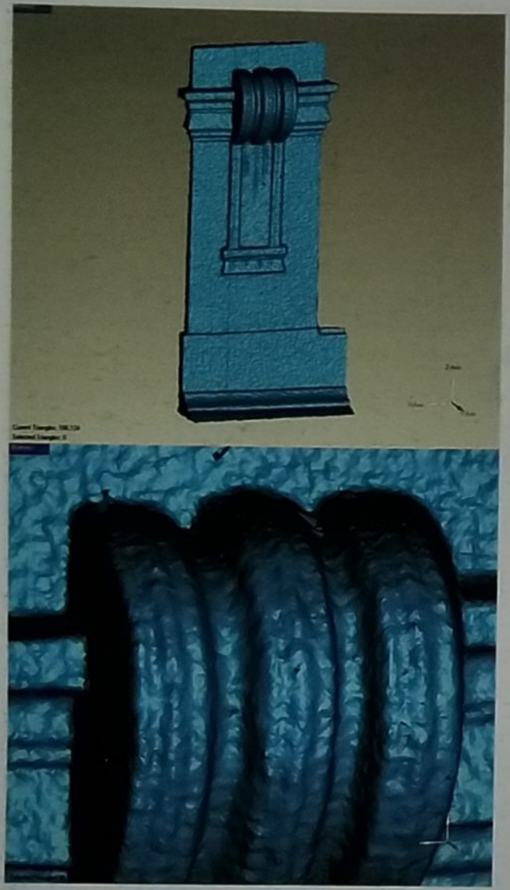
Tav. XXXVII. Messina, Istituto Talassografico, dettaglio. Rilevamento C. Bianchini, A. Ippolito.

Tav. XXXVIIIa

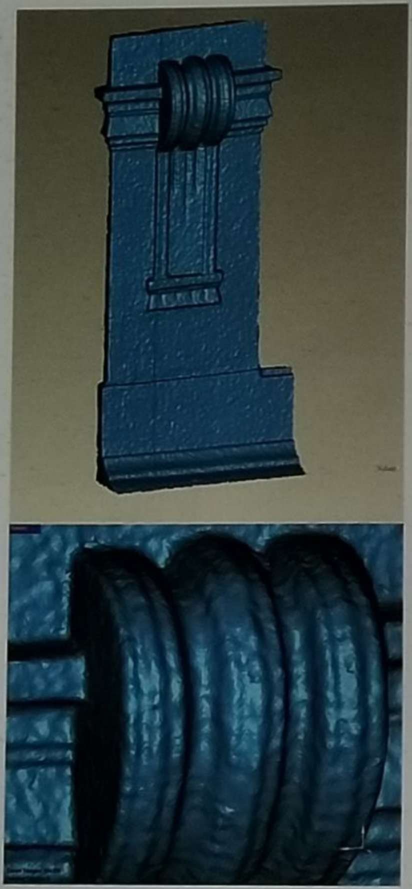


Tav. XXXVIIIb

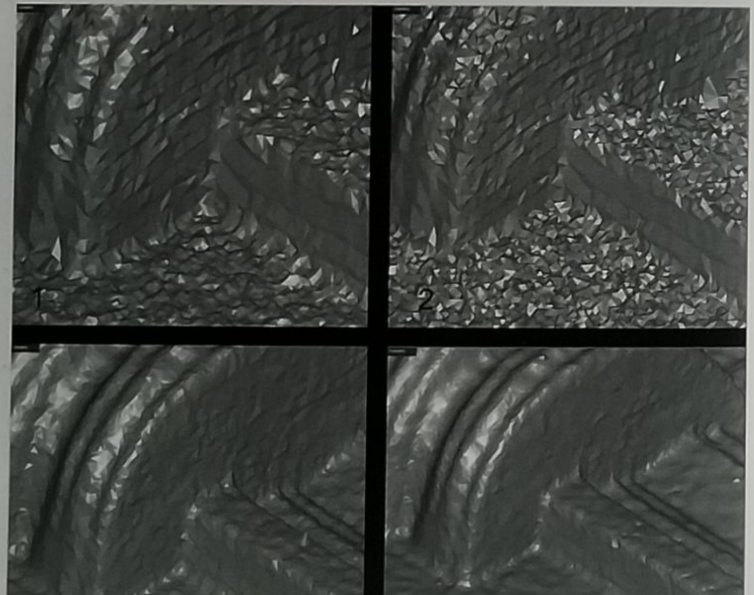
Tav. XXXVIII a,b. Mesh di porzione del paramento esterno dell'Istituto Talassografico a Messina. Elaborazioni A. Ippolito.



Tav. XXXIXa

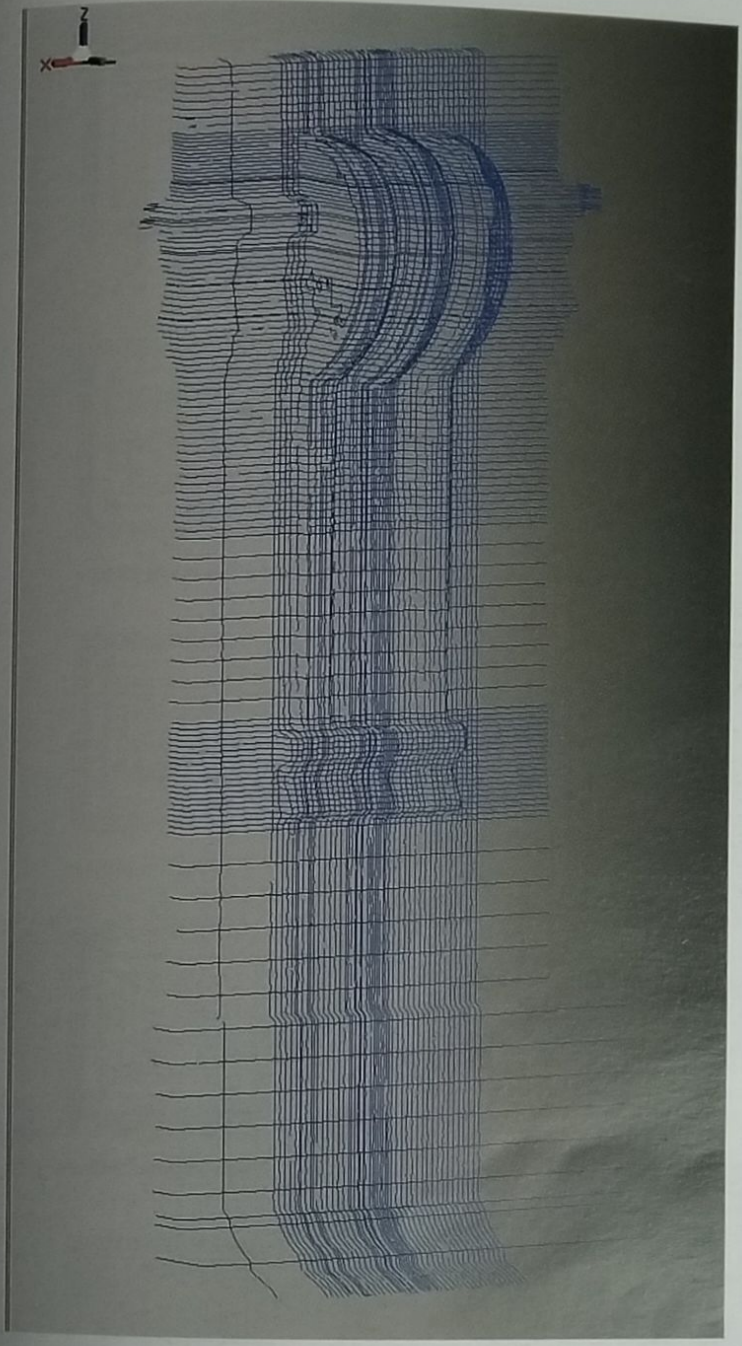


Tav. XXXIXb

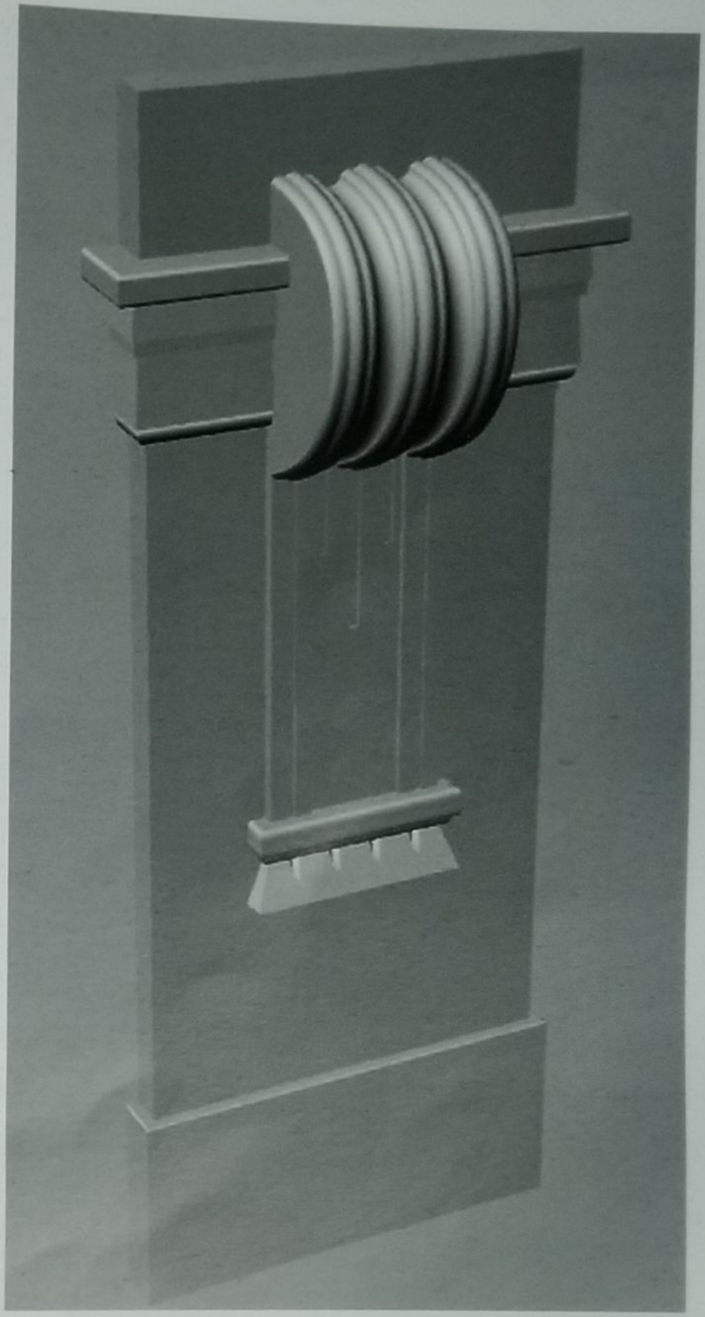


Tav. XXXIXc

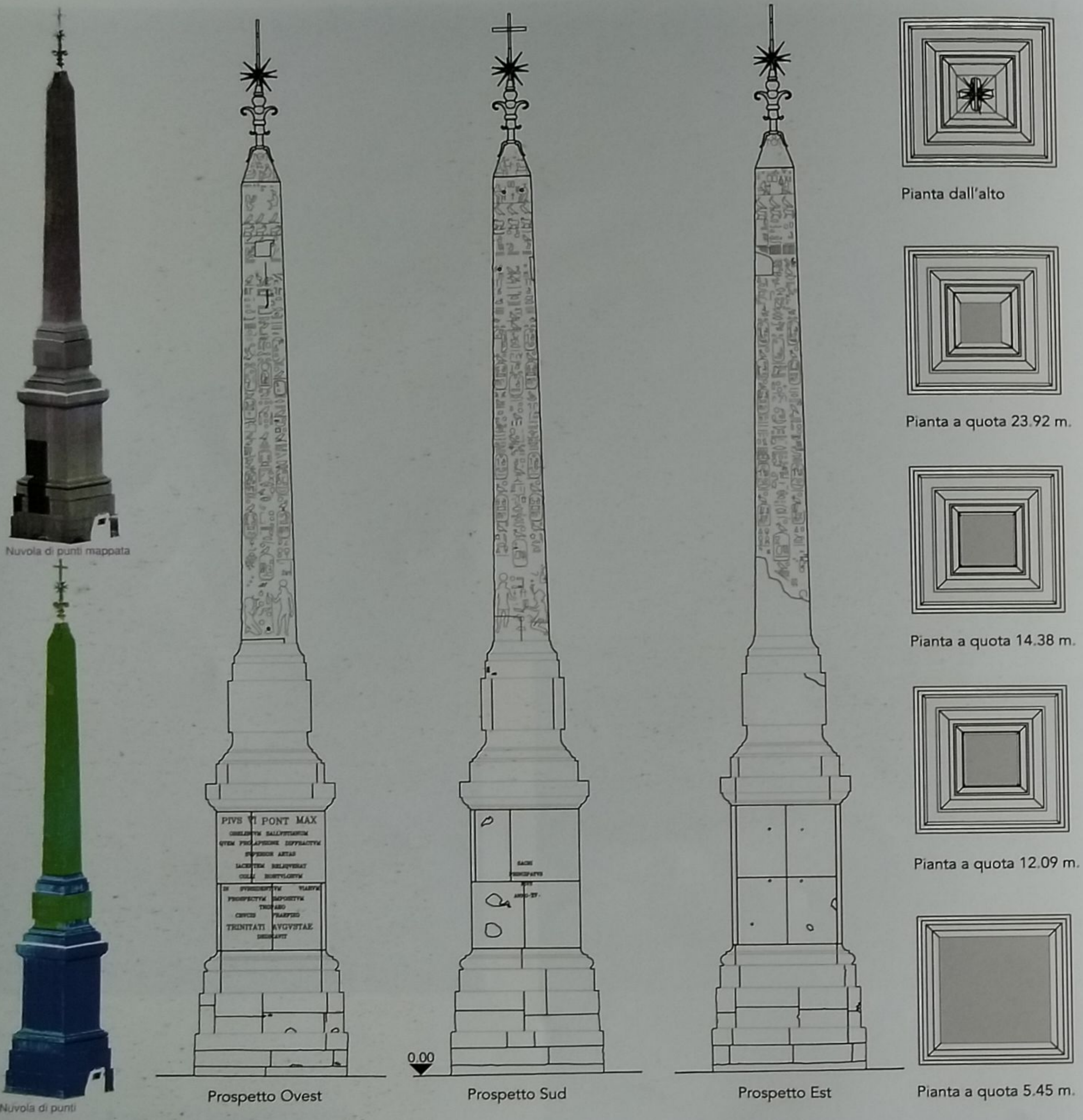
Tav. XXXVa,b,c. Mesh di porzione del paramento esterno dell'Istituto Talassografico a Messina; confronti sulle metodologie di realizzazione delle superfici Mesh. Elaborazioni A. Ippolito.



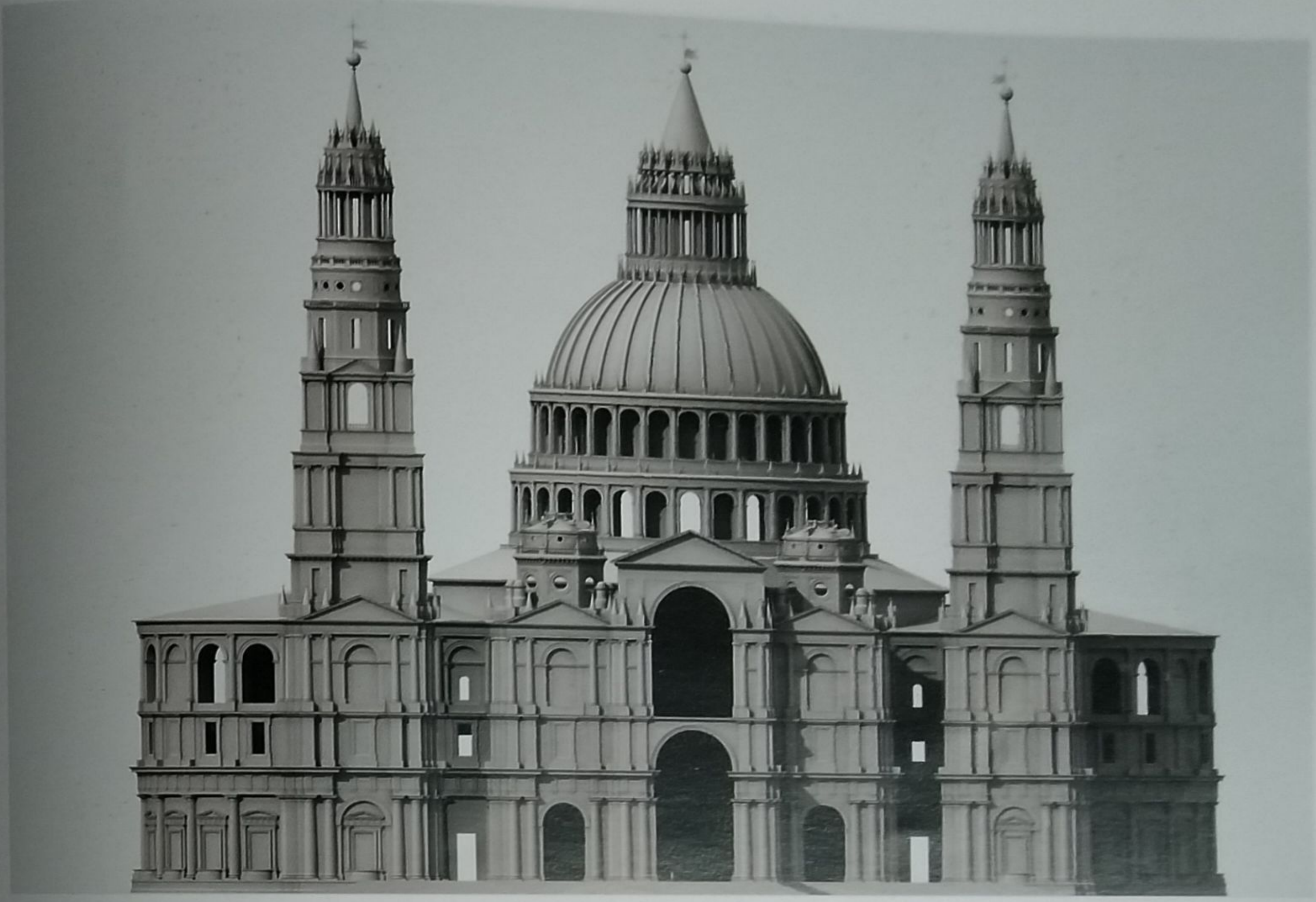
Tav. XL. Sezioni ottenute dalla nube di punti del paramento esterno dell'Istituto Talassografico a Messina. Elaborazioni A. Ippolito.



Tav. XLI. Modello NURBS ottenuto dalle sezioni del paramento esterno dell'Istituto Talassografico a Messina. Elaborazione A. Ippolito.

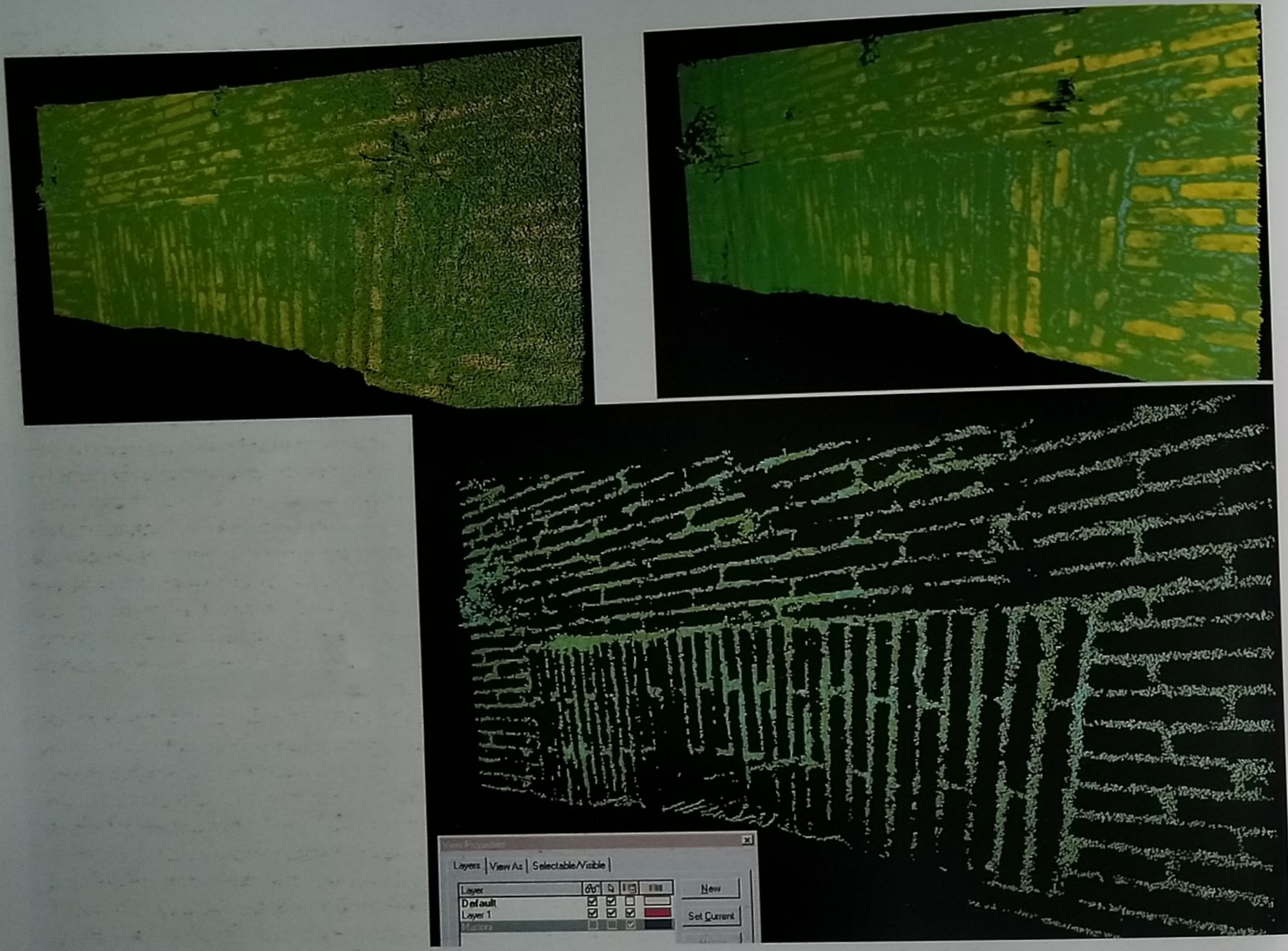


Tav. XLII. Realizzazione di piante e prospetti da elaborazioni da nube di punti dell'Obelisco Sallustiano in Roma. Rilevamento ed elaborazioni C. Bianchini, A. Ippolito.



Tav. XLIII. Modello digitale del plastico della basilica di San Pietro, di Antonio da Sangallo il Giovane. Elaborazioni A. Ippolito.

Tav. XLIV. Rendering con testurizzazione del modello digitale del plastico della basilica di San Pietro, di Antonio da Sangallo il Giovane. Elaborazioni A. Ippolito.



Tav. XLVII. Utilizzo della riflettanza per evidenziare i giunti di malta di una piattabanda, in muratura, del Colosseo. Rilevamento P. Paolini.

Capitolo decimo

Fotografia e rilevamento

Natura della fotografia

La fotografia può, se correttamente utilizzata, svolgere una funzione notevole di documentazione, come completamento ai grafici di rilievo, e costituire uno strumento insostituibile nel rilevamento architettonico ed urbano, come strumento ausiliario nelle operazioni di rilievo. Essa, però, qualora non utilizzata correttamente, soprattutto per scarsa conoscenza della sua tecnologia, può divenire inutilizzabile, inaffidabile, talvolta inopportuna, allorché comporti aberrazioni delle immagini e il conseguente rischio di un'erronea o travisata lettura delle caratteristiche dell'organismo architettonico in oggetto[1].

Sono utili, pertanto, alcune considerazioni sulla natura della fotografia per comprendere quali siano le procedure da seguire affinché la fotocamera sia nella condizione di eseguire corrette documentazioni fotografiche[2], che rispondano alle esigenze del rilevamento architettonico.

La luce è il «materiale» fondamentale e necessario per la costruzione di un'immagine sull'oggetto fotografia, si tratti di una stampa su carta, o di una diapositiva o di altro: se non vi è luce, o meglio, se la luce non è quella favorevole e ottimale per il tipo di obiettivo e di materiale sensibile, non è possibile ottenere una buona fotografia d'architettura, che consenta la lettura dei dettagli esistenti sia nelle zone di luce che in quelle d'ombra (figg. 1, 2).

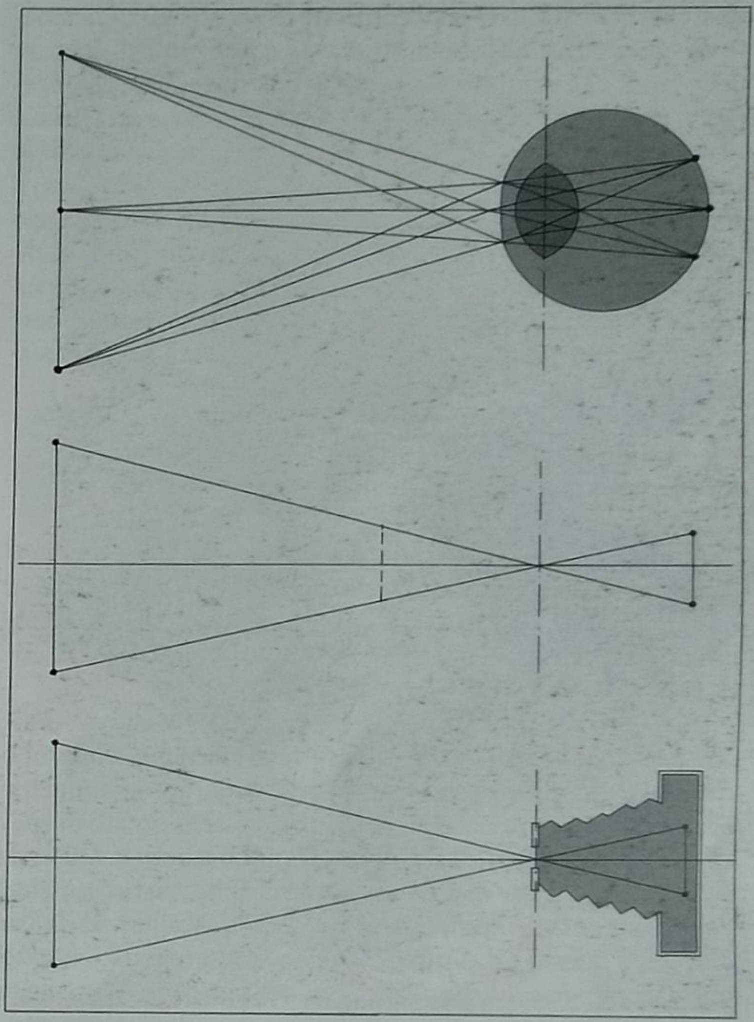
Il potere evocativo[3] della fotografia si fonda sulla capacità della nostra memoria di immagazzinare le immagini in maniera più efficace e stabile dei prodotti di altre percezioni. Il nostro cervello, inoltre, è capace di associare una percezione visiva, ad esempio quella che si trae dall'osservazione di una fotografia, con altre informazioni depositate in precedenza nella nostra memoria. La percezione di un oggetto architettonico è, quindi, il frutto di una vasta esperienza, che include, oltre all'osservazione visiva, anche sensazioni tattili, misurazioni compiute nel muoversi in relazione all'oggetto, misurazioni che derivano dall'esperienza acustica e da elaborazioni concettuali storiche, critiche e tecniche su di esso compiute: quanto maggiore è il numero delle informazioni esistenti nei depositi della nostra memoria, tanto più profonda è la conoscenza che noi abbiamo di tale oggetto[4]. Il valore della documentazione sarà quindi tanto più rilevante quanto più numerose saranno le fotografie significanti, senza preoccupazione di ridondanza, e quanto migliore sarà la qualità delle immagini ottenute (fig. 3)[5].

Gli apparecchi fotografici costituiscono un'applicazione tecnologica dei fondamenti scientifici della rappresentazione prospettica. Il sistema geometrico e il sistema fotografico presentano profonde differenze fra loro, ma, allo stesso tempo, analogie tali da rendere possibile, nelle procedure del rilevamento architettonico, una complementarità fra i due sistemi (fig. 4). Quanto alle differenze, sono dovute sia alla diversa definizione del centro di proiezione, sia alle distorsioni attribuibili alle modalità di attraversamento della luce non solo all'interno delle lenti, ma anche nella stessa atmosfera (fig. 5)[6].

Due percorsi indipendenti di ricerca si sono sintetizzati nel processo fotografico: da una parte, la scoperta di sostanze chimiche alterabili dalla luce; dall'altra, l'evoluzione dei sistemi di rappresentazione disegnata della realtà esterna, coadiuvata dall'uso di macchine, che, a partire dalle osservazioni di Alhazen di Basra sulle immagini rovesciate, prodotte su una parete da un forellino comunicante con l'esterno[7], giun-

Fig. 1. Bologna, chiesa di San Francesco. Il chiostro in una fotografia del 1966 di Paolo Monti, dove vengono esaltati sia i valori dell'immagine che quelli dell'architettura.

Fig. 2. Roma, Palazzo Barberini. Una porta di Francesco Castelli detto il Borromini. Fotografia G. Stockel.



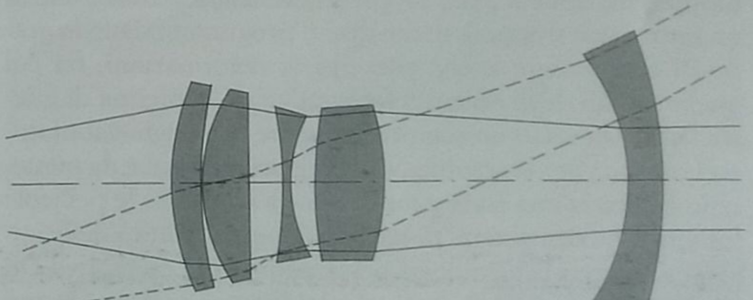


Fig. 3. Sulla torre di Palazzo Vecchio a Firenze. Fotografia della Fratelli Alinari (1890).

Fig. 4. Differenze e similitudini tra l'occhio umano, la prospettiva e la fotocamera.

Fig. 5. I raggi che attraversano l'obiettivo non sono rettilinei, come nel sistema prospettico, ma seguono percorsi variamente spezzati che dipendono dalla natura del cristallo da essi attraversato.

ge ai giorni nostri, con la produzione di sofisticate fotocamere ed efficientissimi sistemi ottici. Ma è proprio nella natura delle lenti, che costituiscono il sistema ottico di una fotocamera, che risiede tutta la differenza tra sistema geometrico e sistema fotografico: la composizione del cristallo ottico, le problematiche relative al raffreddamento della sua fusione, il sistema di molatura sferica delle lenti, i metodi di montaggio delle stesse e altre cause ancora comportano una serie di difetti (*aberrazione sferica*, *aberrazione cromatica*, *coma*, *curvatura di campo*, *astigmatismo*, *distorsione*), che possono essere contenuti entro limiti accettabili, in obiettivi di elevata qualità, ma che non sono mai del tutto eliminabili.

L'attrezzatura fotografica

Nelle fotografie realizzate per documentare un'architettura oggetto di rilevazione, le distorsioni sono accettabili solo se contenute entro precisi limiti e questo fatto introduce criteri discriminatori tra i diversi generi di attrezzatura esistenti sul mercato.

Tipi speciali di fotocamere utilizzate per le riprese d'architettura sono quelle metriche o semimetriche, entrambe specificamente progettate per le restituzioni fotogrammetriche: si tratta di fotocamere che devono essere dotate di specifiche certificazioni di collaudo, dovendo essere le tolleranze ammissibili, sia meccaniche che ottiche, rigorosamente contenute entro ridottissimi limiti di tollerabilità[8]. È da osservare, a questo proposito, che sono stati progettati, e sono in via di rapida evoluzione, programmi per computer capaci di compensare nelle immagini acquisite tramite scanner, tutte le deformazioni dovute alla non complanarità tra piano di rappresentazione e piani rappresentati. È prevedibile che in un futuro non troppo lontano questi programmi siano in grado di compensare anche altri tipi di deformazioni, fra cui quelle radiali degli obiettivi fotografici[9]. A conferma di questa tendenza verso un sempre maggiore uso degli elaboratori elettronici per la restituzione fotogrammetrica, è da mettere in evidenza una forte propensione a sostituire le pellicole fotografiche con sistemi di registrazione elettronica delle immagini, sia con la tecnologia degli scanner (ad esempio il Digital ScanPack della Rolleiflex), sia direttamente con le tecnologie in uso per i videoregistratori, come la Ion della Canon o una fotocamera della Kodak, non ancora in commercio, di integrazione ed estensione dell'attuale sistema Photo CD sempre della Kodak; tali metodi di registrazione delle immagini, infatti, saranno competitivi quando le memorie di massa potranno supportare un'alta definizione, paragonabile, se non superiore, a quella fornita attualmente dalle pellicole, ed essere anche economicamente vantaggiose.

La fotocamera. Nella fotografia d'architettura, a parte le fotocamere a corpi mobili o banchi ottici del tipo Sinar (fig. 6), Horseman (fig. 7), Linhof (fig. 8), la cui gestione è estremamente complessa, di scarsa maneggevolezza e di peso elevato, sono utilizzabili, adoperando pellicole ad alta definizione,

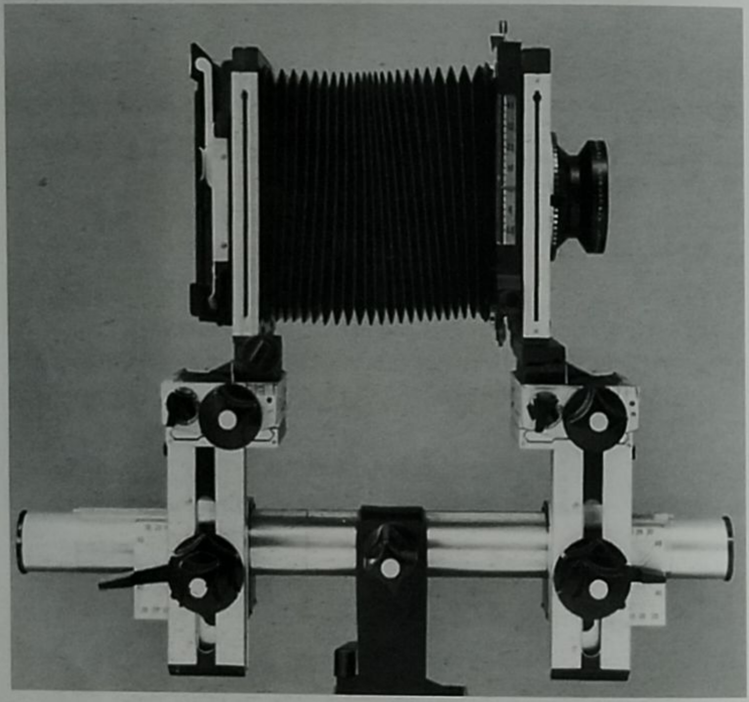


Fig. 6. La fotocamera professionale Sinar a corpi mobili è costituita da un binario sostenuto dalla testa del cavalletto, due standarte articolabili collegate da un soffietto e destinate ad accogliere il dorso portapellicola e la piastra portaobiettivo. Proprio perché di semplice costituzione e prive di automatismi l'uso di queste fotocamere risulta complesso consentendo solo manualmente operazioni che nelle fotocamere di piccolo e medio formato sono state automatizzate e tutte quelle operazioni di decentramento e basculaggio che sono assenti o molto limitate nelle fotocamere di medio e piccolo formato.

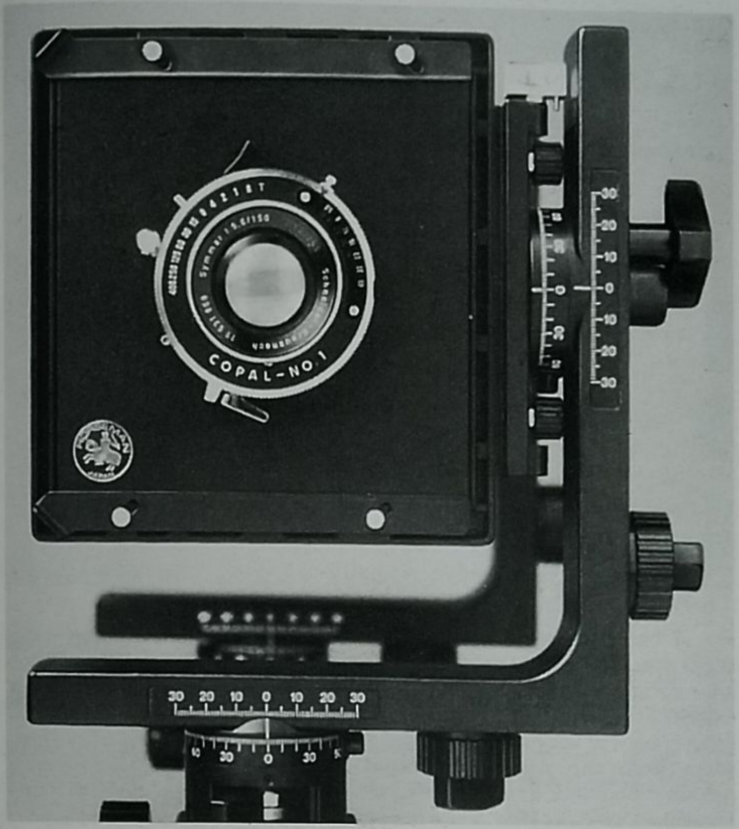


Fig. 7. La fotocamera professionale Horseman consente operazioni di basculaggio più efficienti ruotando la piastra portaobiettivo ed il dorso portapellicole sull'asse ottico dell'apparecchio e differenza delle fotocamere tipo Sinar in cui la rotazione avviene alla base delle standarte.

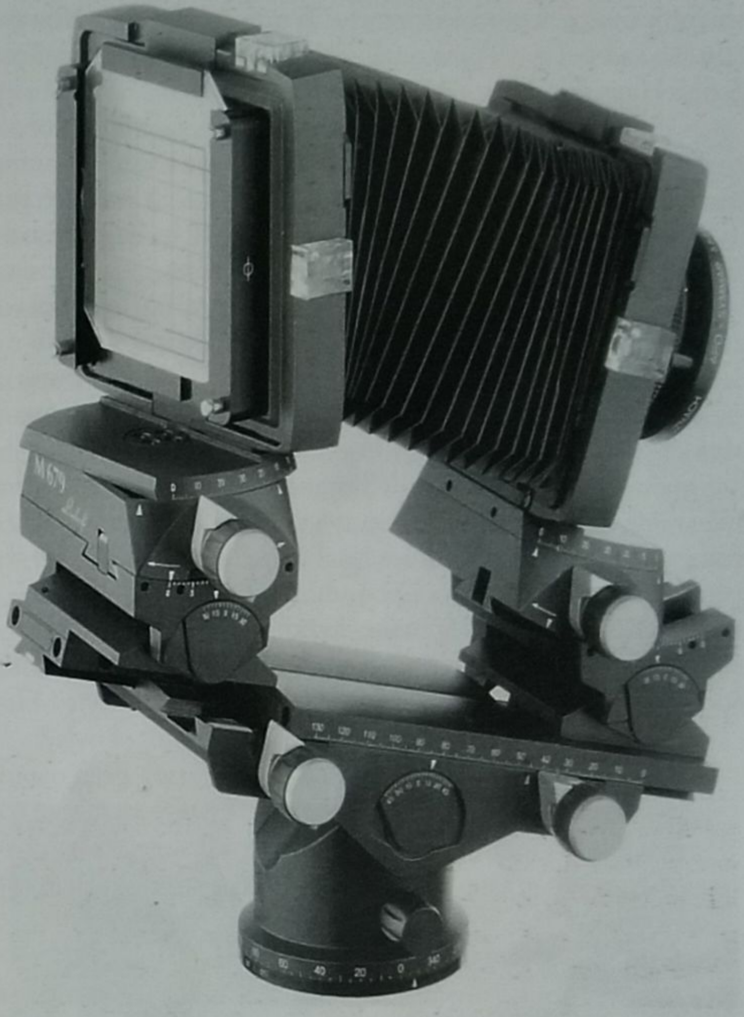


Fig. 8. La recente Linhof M679 per formati di fotogramma 6 x 6 e 6 x 9 basa su differenti princìpi i movimenti dell'obiettivo e del portapellicole, ne risulta una fotocamera estremamente compatta essendo stata progettata specificamente per l'uso di dorsi digitali che allo stato attuale utilizzano formati di CCD inferiori a quelli delle pellicole.

Fig. 9. Una fotocamera Nikon F1 per pellicole 135 con fotogrammi 24 x 36. Il progetto è degli anni Sessanta e benché perfezionato in seguito non è stato modificato nella sua impostazione fino all'uscita delle fotocamere digitali.

sia fotocamere di piccolo formato, di mm 24 x 36 tipo Nikon (fig. 9), Leica (fig. 10), sia quelle di medio formato, di cm 6 x 6 tipo Hasselblad (fig. 11).

Specialmente dedicate all'architettura e dotate di una certa maneggevolezza, sono oggi prodotte fotocamere del formato di cm 6 x 7, 6 x 9, 6 x 12, fino al tipo di 4 x 5 pollici (cm 10,2 x 12,6), fra cui l'italiana Silvestri (fig. 12), che possono utilizzare una vasta gamma di obiettivi professionali, sono dotate di dispositivi per il posizionamento verticale del piano pellicola ed hanno grandi possibilità di decentramento e basculaggio delle standarte dell'obiettivo e del dorso portapellicola, per un controllo della prospettiva e della profondità di campo.

È ovvio che la qualità dell'immagine dipenda dalla dimensione del negativo e, di conseguenza, dal formato della fotocamera. A parte il fattore qualità dell'immagine, sono il peso, il volume occupato e non ultimo il costo dell'attrezzatura, i fattori che maggiormente determinano quale debba essere la strumentazione più idonea ad essere utilizzata per una specifica occasione di documentazione architettonica.

Fig. 11. Nel 1948 Victor Hasselblad, derivandola da una fotocamera progettata per riprese aeree durante la seconda guerra mondiale, presentò al pubblico una fotocamera monobiettivo la 1600F con fotogramma del formato di cm 6 x 6 dotata di caratteristiche meccaniche ed ottiche all'avanguardia. Da quella fotocamera derivò una fortunata serie di fotocamere monobiettivo e reflex di altissimo livello ancora in produzione nonostante la casa sia ormai indirizzata a produrre innovative fotocamere digitali. La fotocamera rappresentata è una Hasselblad SWC del 1968 a cui è stato distaccato il dorso portapellicola.

Fig. 10. Derivata da un prototipo progettato nel 1911 da Oscar Barnak per Ernst Leitz, la fotocamera Leica II del 1932 dotata di un obiettivo Leitz Summitar 1:2, f = 5 cm. Il mirino è la finestrella rettangolare sopra l'obiettivo, le due finestrelle tonde sono le mire del telemetro, gli obiettivi sono intercambiabili.

Fig. 12. La fotocamera T30, prodotta dalla ditta fiorentina Silvestri, progettata specificatamente per fotografie di architettura, monta una serie di obiettivi su una piastra scorrevole per il decentramento dell'obiettivo in tutte le direzioni ed un dorso portapellicola per formati dal 6 x 6 al 6 x 12.

Gli obiettivi. Le principali caratteristiche di un obiettivo sono la luminosità, o apertura massima, e la lunghezza focale, che determina l'angolo di ripresa. Gli obiettivi consentono due tipi di regolazioni: 1) la messa a fuoco che, variando la lunghezza focale, consente di avere immagini nitide di oggetti posti a diverse distanze dalla fotocamera; 2) la scelta del diaframma, ossia della luminosità desiderata per una data ripresa[10].

Nella fotografia d'architettura non vi è alcuna necessità di obiettivi molto luminosi, se si tengono presenti tre fattori: il potere di risoluzione di un obiettivo è migliore per i diaframmi intermedi; la fotografia d'architettura viene eseguita, per consentire un migliore controllo dell'immagine, con l'uso del cavalletto; nella scala delle coppie tempo/diaframma, fornite da un esposimetro, la scelta migliore è quella di adoperare un diaframma che fornisca una buona profondità di campo ed una miglior definizione, relegando in second'ordine il tempo d'esposizione, che in genere risulta tale da sconsigliare l'uso della fotocamera senza cavalletto[11].

In una stessa fotocamera, differenti lunghezze focali determinano diversi campi di ripresa, tenendo presente che, senza variare il punto di vista e senza modificare la posizione e l'orientamento del fotogramma, la prospettiva degli oggetti rappresentati non cambia (figg. 13, 14, 15). Per la fotografia d'architettura gli obiettivi più utilizzati ai fini di una sufficiente documentazione sono: per il piccolo formato di mm 24 x 36, un grandangolo da 24 mm, un obiettivo normale da 50 mm e un teleobiettivo da 135 mm; per una fotocamera di medio formato di cm 6 x 6, i corrispondenti 38, 80 e 250 mm; e per il formato di cm 6 x 9, rispettivamente il 47, il 100 e il 300 mm[12]. In genere gli obiettivi grandangolari vengono utilizzati sia per le fotografie di contesto architettonico che per gli edifici nel loro complesso; per riprendere elementi di architettura e loro particolari, vengono utilizzati gli obiettivi normali, nel caso in cui sia possibile avvicinare il soggetto, i teleobiettivi, nel caso in cui il soggetto sia lontano e non accessibile.

La Nikon è stata una delle prime case a produrre un obiettivo grandangolare decentrabile per il piccolo formato, un obiettivo cioè, montato su una slitta, in modo da consentire il suo decentramento, rispetto al centro del fotogramma, mediante una vite micrometrica: dispositivo prodotto per consentire, entro determinati limiti, la correzione della prospettiva nelle fotografie d'architettura. Vista la loro grande utilità e il successo incontrato, altre case, fra cui l'Hasselblad, per le fotocamere di medio formato, hanno proposto obiettivi simili. L'italiana Silvestri, e prima ancora la Plaubell con una sua fotocamera ora non più prodotta, hanno progettato un corpo macchina in cui l'obiettivo viene montato direttamente sopra una slitta, la quale consente un decentramento micrometrico per tutti gli obiettivi utilizzabili che abbiano una sufficiente copertura.

Oltre alla regolazione della messa a fuoco, gli obiettivi fotografici sono dotati anche di un sistema di regolazione della luminosità, che consiste nella riduzione del diametro utile della lente, mediante un'opportuna diaframmazione: uno stop del sistema di regolazione corrisponde a un raddoppio della luminosità e, in direzione opposta, a un suo dimezzamento. La scala dei tempi è tale che ad ogni stop corrisponde, analogamente a quanto avviene nei diaframmi, un raddoppio o dimezzamento del tempo di otturazione. Nelle fotocamere professionali sono presenti riferimenti a scatto, che suddividono in tre parti uno stop della scala dei diaframmi[13].

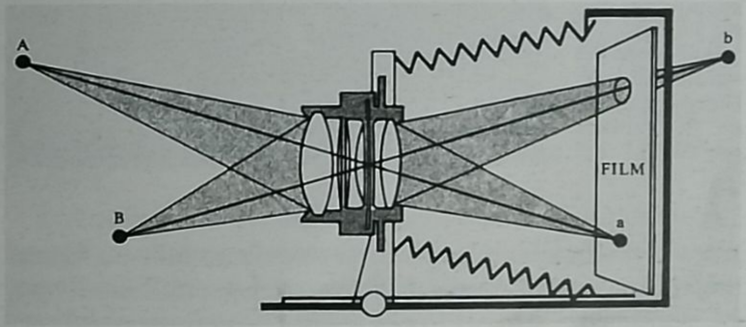
Salvo le fotocamere metriche o semimetriche, che sono a fuoco fisso, tutte le altre hanno la possibilità di messa a fuoco mediante sistemi di tiraggio, i quali consentono di variare la lunghezza focale dell'obiettivo. Fotografando una serie di punti nello spazio a diverse distanze, alcuni risulteranno messi a fuoco sul piano della pellicola, altri si metteranno a fuoco su piani o anteriori o posteriori a quello della pellicola, sul cui piano la loro rappresentazione diventa non un punto, ma un piccolo disco chiamato «cerchio di confusione». Riducendo l'apertura del diaframma, la dimensione del cerchio di confusione diminuisce fino a diventare un punto nitido. Con il termine *profondità di campo* si intende la distanza esistente, in profondità, tra due punti della scena fotografata, all'interno della quale ogni punto risulta messo a fuoco sul piano della pellicola (figg. 16, 17).

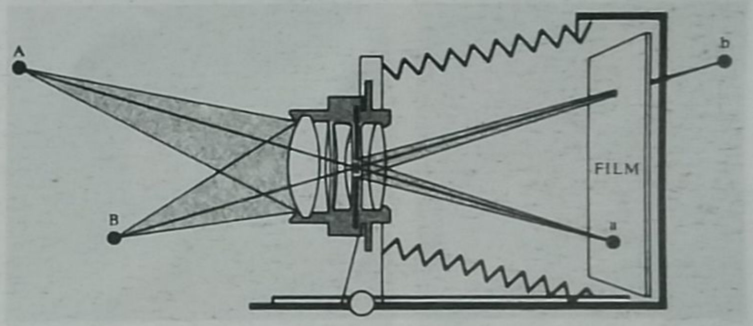
Di particolare interesse per le riprese d'architettura è la conoscenza della *distanza iperfocale*, variabile per ciascun diaframma di un dato obiettivo, che permette di avere la massima profondità di campo possibile per ciascuno dei diaframmi. Per la determinazione della distanza iperfocale, si regola la messa a fuoco all'infinito e si legge, in corrispondenza del diaframma massimo (ad esempio il f/22), la

Fig. 13. Una foto panoramica realizzata con un obiettivo grandangolare e con evidenziata la parte del fotogramma inquadrabile dallo stesso punto di stazione con un teleobiettivo.

Fig. 14. Dallo stesso punto di stazione un panorama realizzato con un obiettivo normale e con evidenziata la parte del fotogramma inquadrabile con un teleobiettivo.

Fig. 15. La parte del panorama delle due precedenti fotografie inquadrata con un teleobiettivo.





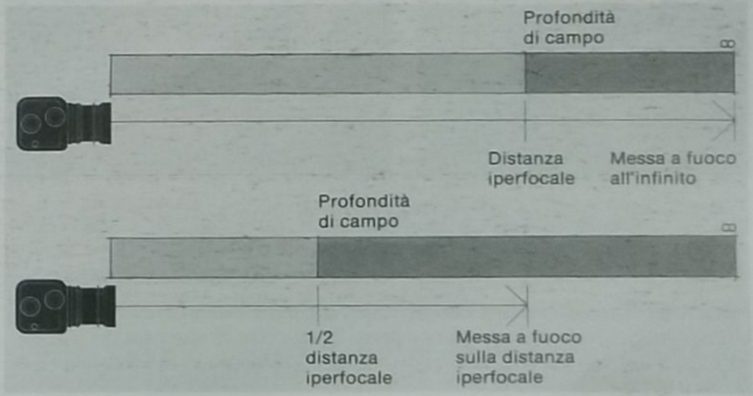


Fig. 16. Con diaframma completamente aperto i due punti A e B da rappresentare sulla pellicola generano due coni: il primo ha il vertice posto sul piano della pellicola, il secondo ha il vertice ossia il suo punto di messa a fuoco in un punto posteriore al piano della pellicola producendo su di essa un cerchio di confusione o come si dice di sfocatura.

Fig. 17. Con un diaframma molto chiuso i due punti generano due coni a base molto stretta: il primo vertice è sulla pellicola ed il punto A risulta a fuoco, il secondo vertice B è messo a fuoco in un punto posteriore al piano della pellicola ma il cerchio di confusione è tanto piccolo che percettivamente appare identico al punto A messo a fuoco. La distanza fra i due punti esterni alla fotocamera viene detta profondità di campo.

Fig. 18. La messa a fuoco sulla distanza iperfocale consente la massima profondità di campo ottenibile per una determinata apertura del diaframma.

distanza iperfocale di 18 feet (5,4 m): quando si regola la messa a fuoco sulla distanza 18 feet con il diaframma f/22, la profondità di campo si estende da circa 9 feet (2,7 m) all'infinito (fig. 18).

Gli accessori. Con il termine accessori si intende una serie di strumenti i quali non fanno necessariamente parte della fotocamera, ma che con essa possono integrarsi, per ottenere una maggior praticità d'uso. Per la fotografia d'architettura, e non solo per quella, sono necessari un *esposimetro*, un *termocolorimetro*, un *flessibile per lo scatto*, diversi tipi di *filtri*, un *treppiede*, una *livella*, diversi tipi di *luci artificiali* e una *sacca* per il trasporto del materiale fotografico.

Esposimetri. Una corretta esposizione è determinante per ottenere una fotografia utile e leggibile: il termine «esposizione» si definisce come il prodotto della quantità di luce che lascia passare il diaframma, per il tempo durante il quale essa viene lasciata passare, secondo una formula del tipo *esposizione = diaframma x tempo*. Uno strumento utile per determinare una serie di coppie *diaframma/tempo*, utili allo scopo, è l'esposimetro, strumento che misura la luminanza del soggetto.

Tre sono i tipi fondamentali di esposimetro in commercio: quello utilizzato per la lettura della luce incidente, del tipo Sekonic (fig. 19), che utilizza una semisfera bianca per eseguire la media di tutta la luce che colpisce il soggetto; quello a lettura della luce riflessa, del tipo Luna Pro della Gossen (fig. 20), con ampio angolo di lettura, in genere di circa 30°; quelli che misurano la luce riflessa con un angolo di un solo grado, del tipo Spotmeter della Minolta (fig. 21). In fotocamere di piccolo o medio formato, spesso l'esposimetro è incorporato nella fotocamera stessa ed è coordinato con un sistema automatico, che determina i due valori di tempo e dia-

Fig. 21. Uno Spotmeter F della Minolta è stato progettato sullo stesso principio del Luna Pro, ma per stimare la luce all'interno di un cono di ampiezza pari ad 1°.

Fig. 19. L'esposimetro Sekonic Studio Delux II, progettato per misurare la luce incidente sulla scena da fotografare, funziona con una cella di silicio che produce una differenza di potenziale proporzionale all'intensità della luce.

Fig. 20. Un Luna Pro della Gossen, progettato per stimare con notevole sensibilità la luce riflessa dalla scena compresa in un cono di apertura di circa 60°. La cella fotoresistente è di solfuro di cadmio e l'alimentazione del sistema è assicurata da una batteria.

framma, anche se questi sono previsti per tipi di illuminazione standard della scena.

Due sono le tecnologie usate per il funzionamento degli esposimetri: quella che utilizza la proprietà delle celle di silicio di produrre una differenza di potenziale, in proporzione alla qualità ed intensità della luce che le colpisce e la tecnologia al solfuro di cadmio (o altri sali analoghi); sale che aumenta la resistenza ad essere attraversato da una corrente elettrica, in proporzione alla qualità ed intensità della luce che lo colpisce. Nel primo caso un amperometro misura la corrente elettrica emessa dalla cella di silicio; nel secondo caso l'amperometro misura la corrente elettrica generata da una batteria, che è riuscita ad attraversare la cella di solfuro di cadmio.

Termocolorimetri. Le pellicole in commercio sono equilibrate per valori standard della luce, espressi in temperatura colore, indicati nei foglietti illustrativi di ciascun tipo di pellicola: è, quindi, necessario correggere in qualche maniera la luce utilizzata, per avere un'esposizione corretta. Una lampada Nitraphot da 500 watt, classica nella fotografia a luce artificiale, produce una luce corrispondente ad una temperatura colore di 3.200°K (gradi Kelvin): quella della luce di mezzogiorno a livello del suolo è compresa fra 5.400 e 6.000°K, e la luce misurata in una zona d'ombra, proveniente esclusivamente dal cielo blu, è compresa fra 12.000 e 27.000°K.

I termocolorimetri sono strumenti simili agli esposimetri, che indicano, oltre alla temperatura colore della luce adoperata, anche il tipo di filtro di conversione da usare per il tipo di pellicola in uso.

Filtri. Nella fotografia in bianco e nero e in termini di valori della stampa finale, il filtro detto «di correzione» ha la funzione di schiarire il proprio colore e di scurire i colori complementari: un filtro rosso, cioè, ha il caratteristico colore che gli permette di trasmettere un'elevata percentuale di lunghezze d'onda rosse e di assorbire la maggior parte delle altre. In una fotografia d'architettura in esterno, che riprenda un intero edificio, può essere opportuno abbassare il contrasto esistente tra il cielo e la facciata dell'edificio: un filtro giallo medio è adatto allo scopo, scurendo il celeste del cielo e schiarendo la pietra della facciata; un filtro rosso potrebbe rendere troppo scuro il cielo e troppo chiara la pietra, portando a un risultato opposto a quello desiderato. In sostanza, nella fotografia in bianco e nero un accurato uso dei filtri permette di determinare, in valori di grigio, le volute relazioni dei valori luminosi delle diverse parti che compongono l'oggetto della ripresa.

Nella fotografia a colori vi è un grande uso dei filtri, sia in sede di ripresa che in sede di stampa[14].

Treppiedi. Con la fotocamera poggiata sul treppiedi, il fotografo si trova in una posizione più riflessiva ed esatta nei confronti dell'architettura da fotografare, rispetto a quando ne fa un uso a mano libera. Strumento indispensabile nelle riprese d'architettura, esso deve essere scelto con la massima cura, valutandone la solidità, il peso, l'ingombro, la robustezza, la facilità delle regolazioni, l'estensione delle gambe, e verificando soprattutto la sicurezza e solidità dei blocchi[15].

Livelle. Per ottenere immagini di edifici che non abbiano in fuga prospettica le linee verticali, è necessario che il piano focale della pellicola (piano di rappresentazione) sia posto in posizione verticale. Nel caso il treppiede e la fotocamera non ne siano provviste, può essere utile una piccola livella per mettere in posizione orizzontale la testa del treppiede.

Lampade. Qualsiasi tipo di luce, purché compresa nello spettro visibile, è adatta per registrare buone immagini d'architettura. Devono comunque essere verificate due condizioni importanti, la prima delle quali è che vi sia un livello luminoso sufficientemente elevato in rapporto alla dimensione del soggetto; la seconda è che la luce abbia una morbidezza tale da non generare contrasti eccessivi fra le parti chiare e quelle in ombra. A titolo di esempio, una luce favorevole è quella diurna, con un cielo leggermente velato e con il sole già abbastanza alto (per la nostra latitudine, dalle dieci alle quattordici), incidente a 45° sul soggetto. Se la luce naturale è debole, come può accadere nel caso di una ripresa in interno, ci si può aiutare con un adeguato parco lampade, avendo l'accortezza d'integrare al meglio le condizioni della luce naturale: ad esempio facendo provenire tutta la luce (mai diretta, ma sempre riflessa in un apposito riflettore a «ombrello») da una stessa direzione[16].

Le sacche. Particolare attenzione va posta alla comodità, capienza e potere protettivo della sacca necessaria per il trasporto delle apparecchiature: in tela, ove sia utilizzata una fo-

tocamera di piccolo formato, rigida e accompagnata da un carrello su ruote, ove l'attrezzatura sia pesante e voluminosa.

Il materiale sensibile. Una migliore definizione geometrica della trama architettonica, non confusa dal colore dei materiali; una maggiore trasparenza delle zone in ombra; una maggiore possibilità d'intervento mediante l'uso dei filtri per aumentare o diminuire, in sede di ripresa, i valori del contrasto; la possibilità, in sede di stampa, d'intervenire all'interno di limitate parti dell'immagine per migliorarne la qualità; una maggiore astrazione nei confronti della soggettiva percezione dello spazio d'architettura in un'immagine a colori (che non è una riproduzione fedele della realtà, ma una simulazione delle sue caratteristiche cromatiche, progettata dalla casa produttrice del materiale sensibile): questi sono alcuni importanti motivi che inducono a privilegiare il bianco e nero nella fotografia d'architettura.

Sulla base di due distinti materiali sensibili alla luce si fa riferimento a due distinte tecnologie: quella analogica, che produce immagini caratterizzate da una variazione continua dei toni cromatici di una raffigurazione; e la tecnologia digitale che, riducendo la scala cromatica ad una numerica, determina una variazione discontinua, scalettata, per intenderci meglio, dei toni cromatici. Descritta così, la definizione della tecnologia chimica sembrerebbe superiore a quella analogica, ma le cose non stanno esattamente in questi termini. Diversi sono i fattori che concorrono a rendere di volta in volta la definizione delle immagini migliore in un sistema o nell'altro, quali ad esempio il formato della superficie sensibile alla luce, le possibilità del ritocco, della manipolazione delle immagini, della correzione delle distorsioni prospettiche e delle qualità cromatiche. Non è corretto, pertanto, sostenere che una delle due tecnologie produca immagini migliori dell'altra: esse sono differenti e ciascuna delle due comporta ovviamente pregi e difetti.

Storicamente, la tecnologia analogica ha preso origine da osservazioni compiute già nell'antichità sul cambiamento della colorazione degli oggetti dopo un'esposizione più o meno lunga alla luce solare, ma ha raggiunto una sua compiutezza operativa solo nel secondo quarto dell'Ottocento. La tecnologia digitale trova, invece, la sua sistematizzazione verso la fine del Novecento, con uno sviluppo tale da relegare al solo ambito professionale quella analogica o chimica, che utilizza appunto processi chimici per la produzione di immagini e non procedimenti elettronici ed informatici, propri della tecnologia digitale.

Tecnologia analogica o chimica. Il materiale sensibile per la registrazione fotografica di un'immagine d'architettura viene spalmato in strati sottilissimi sopra supporti adeguati, dando luogo alle cosiddette pellicole (negative o invertibili), utilizzate direttamente dalle fotocamere, se ad essere utilizzato è un supporto trasparente, oppure alle carte da stampa, se ad essere usato è un supporto cartaceo. Il materiale sensibile per eccellenza è costituito da alogenuri d'argento, espressione generica riferita ai composti, sensibili alla luce, dell'argento con un alogeno (iodio, bromo, doro, fluoro). Il bromuro d'argento è il principale elemento delle emulsioni fotografiche, ma vengono usati anche il cloruro e lo ioduro d'argento. Lo strato d'emulsione sensibile, colpito dalla luce, produce un'immagine latente sul supporto utilizzato; questa immagine latente diviene visibile quando il materiale sensibile, impressionato dalla luce, viene reso visibile con una serie di trattamenti chimici, che fanno precipitare granuli d'argento metallico sul supporto, eliminando tutte le altre sostanze componenti.

Tralasciando le caratteristiche delle carte da stampa, che riguardano maggiormente il laboratorio presso cui vengono fatte le stampe, quelle di una pellicola negativa o invertibile sono: la sensibilità[17], la dimensione della grana e la sensibilità spettrale.

L'esame di un negativo rivela che esso, in realtà, non è costituito da una serie continua di valori dal bianco al nero, ma che tali valori sono simulati, per l'occhio umano, da densità maggiori o minori di granuli di argento metallico. Le pellicole a grana fine avranno quasi sempre un contrasto relativamente elevato, un'elevata risoluzione e una bassa rapidità; al contrario, una pellicola ad alta rapidità sarà caratterizzata da una grana di grandi dimensioni (le più recenti pellicole hanno adottato una tecnologia «T-Grain», che in parte svincola la sensibilità dalla dimensione della grana), accompagnata da una riduzione del contrasto e da un sacrificio sul piano della risoluzione.

Le pellicole possono reagire differentemente ai diversi colori dello spettro: fra esse, sono dette *ortocromatiche* quelle

sensibili a tutti i colori dello spettro, salvo il rosso; *pancromatiche* quelle sensibili all'intero spettro visibile; *infrarosse* quelle sensibili appunto alle radiazioni infrarosse, pur presentando anche una certa sensibilità alle altre radiazioni cromatiche.

Per la fotografia d'architettura sono preferibili, per una migliore definizione dei dettagli, pellicole a grana fine e a sensibilità medio-bassa. Possono risultare estremamente utili le pellicole a raggi infrarossi, che consentono la penetrazione della foschia e permettono di evidenziare, in una fotografia aerea, murature esistenti al di sotto del terreno. Di grande interesse sono le pellicole all'infrarosso in falso colore, che danno la possibilità di evidenziare i diversi gradi di assorbimento, e quindi di restituzione, del calore da parte dei diversi materiali.

Per la completezza della documentazione di un rilievo d'architettura, può essere necessario registrare le caratteristiche cromatiche della scena e dei materiali. Le pellicole a colori, negative o invertibili, sono prodotte per sovrapposizione sul supporto di tre strati di emulsioni, sensibili alle radiazioni cromatiche dei tre colori fondamentali RGB (Red Green Blue), contenenti diverse sostanze copulanti che, dopo il trattamento dello sviluppo e del fissaggio, daranno luogo a tre strati trasparenti, caratterizzati dai colori complementari ciano, giallo e magenta, se si tratta di un negativo, oppure dai colori rosso, verde e blu, se si tratta di una diapositiva. La resa cromatica di un'emulsione fotosensibile dipende dalle caratteristiche che ciascun produttore ha ritenuto necessario conferirgli. Nell'uso delle pellicole a colori è quindi necessario non solo prestare attenzione alle caratteristiche dichiarate dai diversi produttori, ma anche alla natura della luce che illumina la scena oggetto della ripresa: se la luce è quella del tramonto, le immagini conterranno una dominante rossa; se la tinta delle pareti di un ambiente è verde, sarà questo il colore dominante nella fotografia di un oggetto contenuto in quell'ambiente. L'occhio e soprattutto la nostra mente sono in grado di compensare queste dominanti; non lo sono invece le pellicole, che sono equilibrate per temperature colore decise dai diversi produttori[18].

Per essere in grado di effettuare documentazioni sia in bianco e nero che a colori, conviene sempre essere dotati di due corpi macchina, se si utilizza il piccolo formato, oppure di due dorsi portapellicola, per le fotocamere di formato maggiore che utilizzano questo sistema.

Sia le pellicole negative che positive, sia quelle in bianco e nero che quelle a colori, è opportuno siano conservate al riparo dall'umidità, dagli agenti chimici presenti nell'atmosfera e dal calore[19]. Una volta esposte alla luce, le pellicole cominciano a subire un processo di alterazione delle sostanze sensibili, che rende necessario lo sviluppo entro pochi giorni, a meno che si conservi la pellicola in frigorifero, a una temperatura non superiore a 10°C, ritardando in tale modo il processo d'alterazione[20].

Tecnologia digitale. Il nastro magnetico registra la differenza tra le note musicali in forma di differenti valori del campo magnetico attribuito alle diverse particelle di ferrite che ne formano la parte sensibile; la misura del campo magnetico è una variazione di tipo continuo tra i valori ammessi alla registrazione. Una registrazione digitale, elaborata da un computer che attribuisce valori numerici alle differenze di potenziale generate dalla cellula di silicio, anche se si avvale di un supporto magnetico, codifica in valori discontinui i valori del campo magnetico. Mentre una leggera alterazione del campo magnetico di una registrazione digitale nulla influisce a modificare la codificazione del numero, grande importanza essa riveste nella registrazione analogica compromettendo la fedeltà del valore registrato.

Nel mondo della fotografia, la sostituzione dell'emulsione fotosensibile di gelatina e alogenuri d'argento con un dispositivo elettronico fotosensibile chiamato CCD (Change Couple Device), dispositivo a scorrimento di carica (fig. 22), ha rappresentato la prima vera rivoluzione all'interno di una tecnologia che, nel corso degli anni aveva sperimentato e pro-

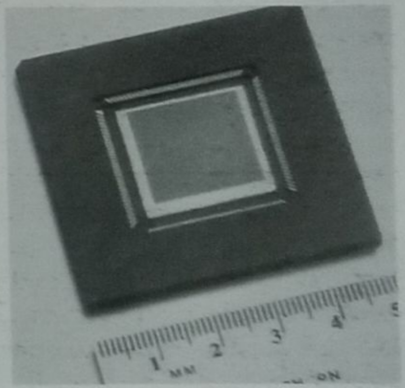


Fig. 22. Un sensore CCD di un dorso medio sulla cui superficie si trovano milioni di elementi deputati alla campionatura della luce che vi incide. La tecnologia in pochi anni ha permesso di costruire questi elementi di dimensione anche inferiore a 9 micron.

dotto fotocamere e pellicole sempre più efficienti ed affidabili, ma sempre legate agli stessi princìpi.

Il corpo delle fotocamere digitali ha avuto una continuità con quelli utilizzati dalla fotografia analogica (fig. 23). Per i piccoli e medi formati che incorporano il sensore CCD, la principale modifica è stata quella di predisporre uno specifico spazio per alloggiare sia il computer di bordo che le batterie necessarie per il suo funzionamento. Per il grande formato, nessun cambiamento sostanziale è stato necessario, consentendo la fotocamera sia l'uso di tradizionali dorsi portapellicola che di dorsi digitali; talora all'interno del dorso è alloggiato il computer e talvolta anche le batterie necessarie al suo funzionamento; spesso, per fotocamere in uso all'interno di studi di posa, il dorso è accoppiato sia ad una presa di corrente, sia ad un computer, con il quale è possibile gestire interamente il funzionamento della fotocamera e sulle cui memorie di massa è possibile scaricare immagini di notevoli dimensioni.

Anche se per fotocamere di non alta gamma inizialmente le ditte costruttrici hanno adottato le stesse ottiche progettate e realizzate per le fotocamere tradizionali, il sistema ottico ha dovuto essere completamente riprogettato, in quanto profondamente diverse sono le caratteristiche (potere di risoluzione e nitidezza) richieste per immagini d'alta qualità, a causa della regolarità di forma e distribuzione dei pixel nei sensori CCD, in confronto alla disposizione irregolare ed alla varietà di forme dei granuli di alogenuro d'argento incorporati nella gelatina delle pellicole.

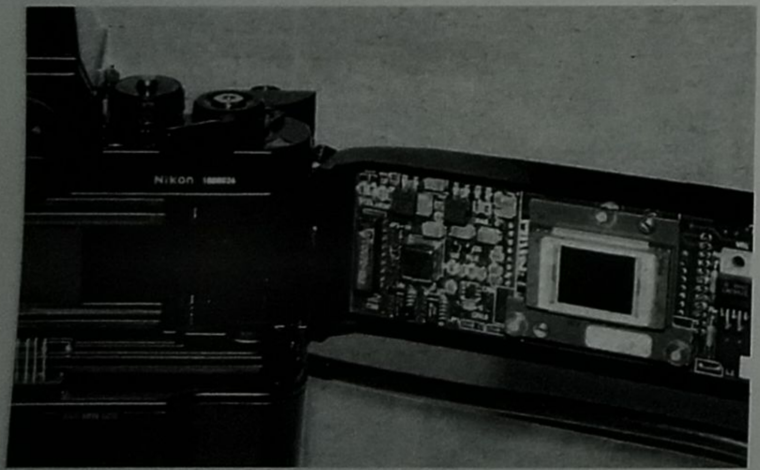


Fig. 23. Una delle prime fotocamere digitali reflex del 1991. Il corpo macchina è quello di una Nikon F3 con dorso modificato per ospitare il sensore DCS 100 di 1.3 megapixel prodotto dalla Kodak.

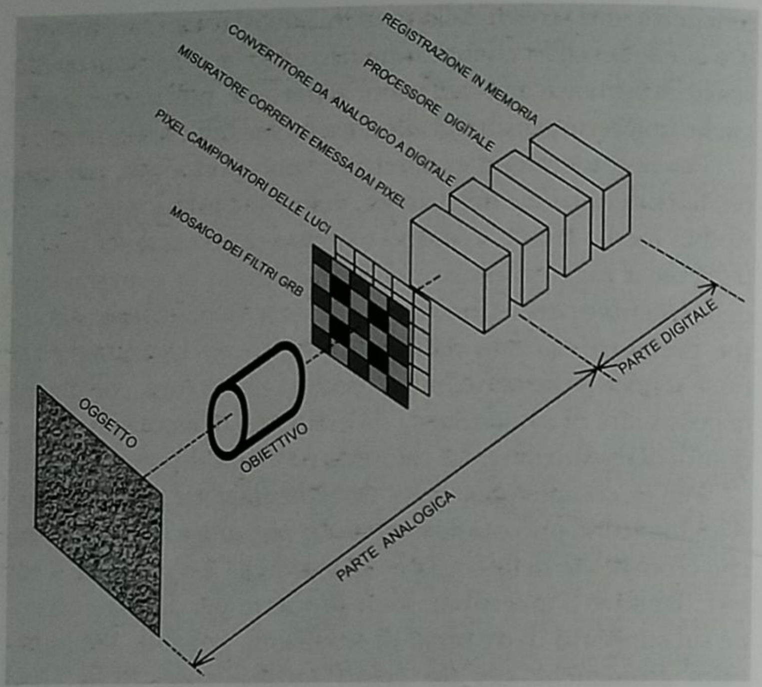


Fig. 24. Nella fotografia digitale il processo è composto da due distinte parti: quella analogica e quella digitale. Nella parte analogica la luce proveniente dall'oggetto viene convogliata dall'obiettivo attraverso un mosaico di filtri (RGB) su piccole particelle di silicio, dette pixel, con funzione di campionatori della luce. Pixel che a loro volta inviano la loro produzione di energia elettrica ad un galvanometro che ne misura l'ampiezza. La differenza di potenziale misurata in una scala analogica viene inviata ad un convertitore che la traduce in un numero esadecimale rappresentativo di quella corrente e di uno dei tre filtri utilizzati. Un processore attribuisce ad ogni numero le coordinate del punto in cui quella luce è stata campionata ed invia il risultato nell'hard disk del computer, ossia nella memoria di massa pronto per essere reindirizzato alla periferica voluta, il monitor o la stampante.

Nella tecnologia digitale il processo fotografico è composto da due distinte parti: quella analogica e quella digitale. Nella parte analogica la luce proveniente dall'oggetto viene convogliata dall'obiettivo, attraverso un mosaico di filtri (RGB), su piccole particelle di silicio, dette pixel, con funzione di campionatori della luce; pixel che, a loro volta, inviano la loro produzione di energia elettrica ad un galvanometro che ne misura l'ampiezza. La differenza di potenziale

misurata in una scala analogica viene inviata ad un convertitore, che la traduce in un numero esadecimale, rappresentativo di quella corrente e di uno dei tre filtri utilizzati. Un processore attribuisce ad ogni numero le coordinate del punto in cui quella luce è stata campionata ed invia il risultato nell'hard disk del computer, ossia nella memoria di massa, pronto per essere reindirizzato alla periferica voluta, il monitor o la stampante (fig. 24).

Il funzionamento di un CCD è il seguente: la luce va a colpire la superficie di un materiale semiconduttore, formato da una griglia di microscopici elementi, detti *pixel* (da *picture elements*, elementi d'immagine), disposti in file ordinate, che funzionano da sensori e che campionano il tipo di luce incidente su ciascuno di essi in forma di differenza di potenziale. In sostanza il CCD è una superficie formata da contigue e separate microscopiche celle di silicio, con sovrapposta una rete formata da minuscoli elettrodi (fig. 25).

Si riporta qui qualche esempio di altissimo livello, in grado di produrre immagini estremamente definite: il dorso digitale Dicomed Big Shot, che disponeva 4.096 x 4.096 pixel su una superficie di 6 x 6 cm, contava complessivamente 16.777.216 pixel, ciascuno delle dimensioni di 14 micron, ossia di 0,0146 x 0,0146 mm; il recente dorso digitale Ixpress 528C, utilizzato dall'Hasselblad H1D, è dotato di 22 milioni di pixel ciascuno, delle dimensioni di 9 micron, cioè di 0,009 x 0,009 mm, distribuiti su una superficie di 36,9 x 49 mm.

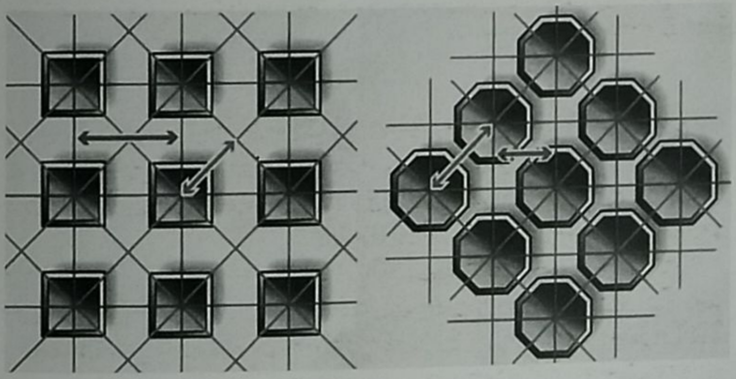


Fig. 25. Non tutti i pixel (elementi campionatori della luce) hanno la stessa forma e sono fatti della stessa esatta materia. A sinistra, la forma più corrente; a destra, quelli prodotti dalla Fuji. Il reticolo lineare che si sovrappone alle piccole celle di silicio costituisce la griglia di elettrodi detti photosite che sovrintende al trasferimento delle cariche al computer di bordo.

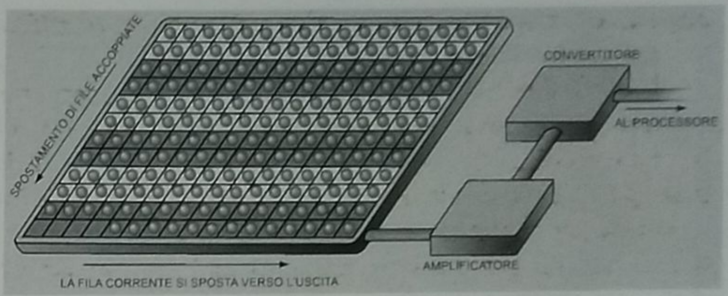


Fig. 26. Il meccanismo di scorrimento delle cariche sulla superficie di un CCD. Le righe delle cariche elettriche dei pixel si spostano a due a due verso il basso man mano che vengono amplificate, conteggiate, convertite da dati analogici in dati digitali, inviate al processore che ne determina la posizione e la struttura all'interno delle memorie di massa.

Le luci della scena, trasmesse dal sistema ottico, formano sulla superficie del CCD zone più o meno illuminate, provocando un variabile e direttamente proporzionale agglomeramento di elettroni sulla sua superficie. La griglia dei minuscoli elettrodi, detti photosite, testa nei differenti punti della superficie le cariche elettriche che si sono generate e le fa scorrere in file ordinate verso una uscita, dove un dispositivo registra l'intensità e la posizione relativa che esse hanno avuto in ciascuna fila, inviando infine i risultati ad un computer, che li converte da dati analogici o continui in dati digitali, cioè numerici e discontinui (fig. 26).

Il grado di definizione e la qualità delle immagini registrate dipendono da alcuni fattori, fra cui la qualità del sistema ottico, la dimensione, forma e qualità del pixel, il numero di pixel presenti sul CCD, il numero di valori che possono essere attribuiti dal convertitore ad ogni differenza di potenziale generata da ciascun pixel e la qualità del software che gestisce i dati all'interno della fotocamera.

Nel linguaggio informatico, il bit rappresenta l'unità minima di informazione e corrisponde al «sì» o «no», ad «1» o «0». Se, quindi, ogni elemento dell'immagine, se cioè ogni pixel fosse caratterizzato da un solo bit, si potrebbero ricavare soltanto immagini in bianco e nero, senza possibilità di intermedi livelli di grigio. Se invece ad ogni pixel si attribuiscono 8 bit di informazione, si possono produrre 256 (cioè 2 elevato all'ottava potenza) varietà di grigio (figg. 27, 28).

Per ottenere un colore pieno, sono necessari tre canali, dedicati rispettivamente al rosso, al verde e al blu (RGB), cia-

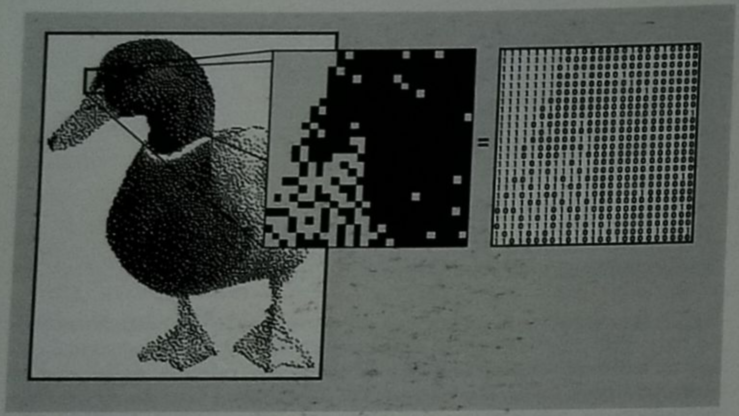


Fig. 27. Una immagine elaborata a due bit dal processore che rende possibili solo due colori, il bianco e il nero: l'immagine è fortemente contrastata e frammentata.

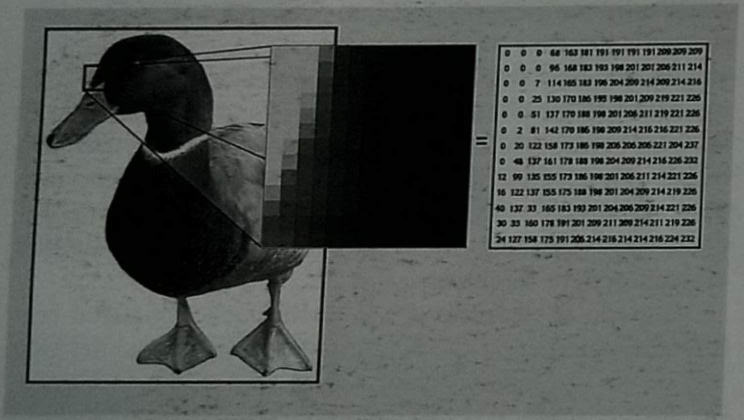


Fig. 28. Le informazioni fornite dai pixel, i campionatori della luce, sono state elaborate per la stessa immagine ma con un numero maggiore di bit, in modo da rendere possibile una vasta gamma di toni di grigio.

scuno a otto bit, che complessivamente potranno fornire 256 x 256 x 256 = 16.777.216 colori, i quali caratterizzano gli attuali personal computer. Il CCD è composto da pixel, su ciascuno dei quali sono stati posti filtri (RGB) in grado di fornire informazioni sulle tre componenti cromatiche in cui è scomponibile la luce emessa da una scena (fig. 29).

A ciascun pixel è possibile comunque, con attrezzature più sofisticate, attribuire un numero maggiore di informazioni; computer più potenti possono lavorare a 10 o a 12 bit, riuscendo così a distinguere rispettivamente 1.024 e 4.096 differenti livelli di grigio.

Un'immagine digitalizzata è quindi definita da più o meno grandi «pacchetti» di numeri (digit significa appunto numero), registrati in un file all'interno di una memoria di massa, in un hard disk e in un CD. Non si tratta, quindi, di un'immagine che è possibile guardare; è necessario, a questo fine, far elaborare dal computer il file contenente il pacchetto di numeri, affinché, riconvertito in segnali analogici, possa essere indirizzato ad un monitor o ad uno dei tanti sistemi di stampa esistenti, per poter essere visualizzato, cioè osservato dal nostro sistema visivo, con modalità che corrispondono ad uno dei tanti progetti elaborati dalle ditte produttrici.

L'evoluzione dei computer e dei programmi grafici dedicati ha spinto le industrie produttrici a ricercare e sperimentare tecnologie digitali informatiche per produrre fotocamere di elevatissima definizione (figg. 30, 31, 32), svincolate dalle procedure chimiche legate alla fotografia tradizionale, determinando allo stesso tempo un'evoluzione delle stampanti specializzate per la grafica e la produzione di immagini fotografiche.

Mentre una volta un fotoreporter doveva inviare i rullini fotografici ad un laboratorio, dove la redazione del pro-

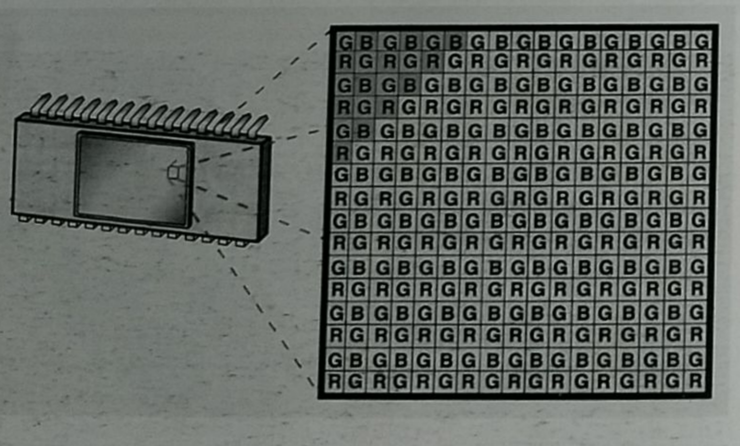


Fig. 29. Per poter scomporre la luce nelle sue tre componenti primarie (rosso, verde e blu) i pixel di un CCD vengono ricoperti da filtri corrispondenti ai colori primari secondo schemi di allineamento diversi. Quello mostrato in figura viene detto schema Bayer, che distribuisce sulla superficie del CCD il 50% di pixel verdi, il 25% di rossi e il 25% di blu.

Fig. 30. Il modello digitale D300 della Nikon dotato di un sensore CMOS da 12.3 megapixel.

Fig. 31. Il modello digitale EOS 450 D della Canon dotata di un sensore CMOS da 12.2 megapixel.

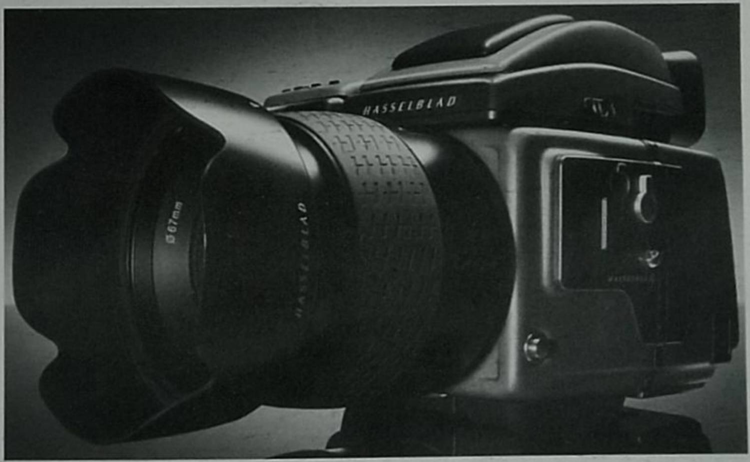


Fig. 32. Hasselblad digitale H3D-31 dotata di un sensore di 31 megapixel.

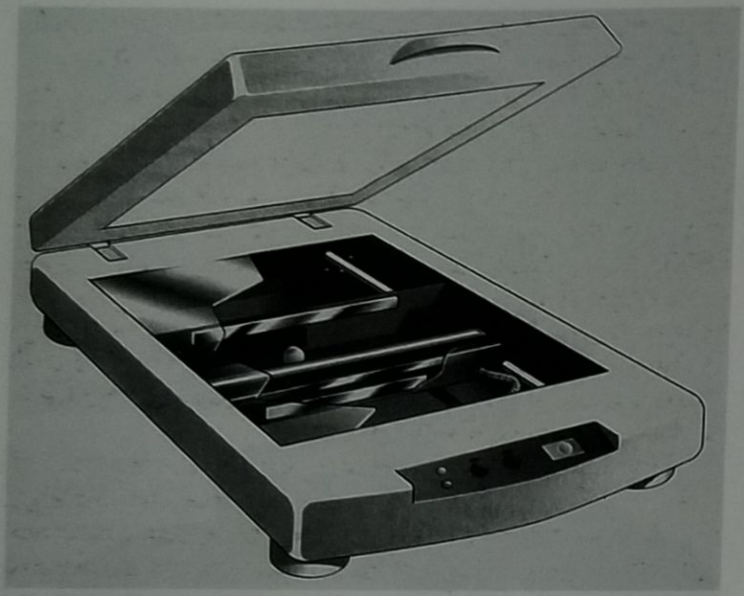


Fig. 33. Scanner piano. Nel corpo fisso prendono posto oltre al CCD, sensore lineare protetto da possibili luci vaganti, un sistema di specchi e la lampada lineare scorrevole per le scansioni a luce riflessa. Nel coperchio dello scanner alloggia, dietro un vetro latte, la lampada lineare utilizzata con movimento scorrevole per la scansione di supporti trasparenti.

prio giornale potesse comodamente ritirare le immagini stampate, ora, appena effettuata la ripresa, egli può, mediante un computer portatile ed un telefono satellitare, trasmettere in tempo reale le immagini ovunque desideri.

Gli scanner devono sempre essere considerati appartenenti all'ambito della tecnologia digitale per le immagini fotografiche. Lo scanner può essere infatti considerato, a tutti gli effetti, una particolare fotocamera digitale, specificatamente progettata per riprodurre immagini digitalizzate esistenti sopra supporti trasparenti o non trasparenti, come ad esempio la carta. In effetti, il funzionamento di uno scanner consiste in un obiettivo ottico, che trasmette l'immagine ad un CCD, a volte lineare, su tre file specializzate, per mezzo di filtri cromatici, ciascuna per uno dei tre colori RGB, a volte su un piccolo CCD di varia forma, che scorre orizzontalmente e verticalmente per campionare le diverse parti della luce emessa da un'immagine. Il sistema di illuminazione dell'immagine da riprodurre può essere per riflessione oppure per trasparenza, a seconda che il supporto dell'immagine sia opaco o trasparente (figg. 33, 34, 35).

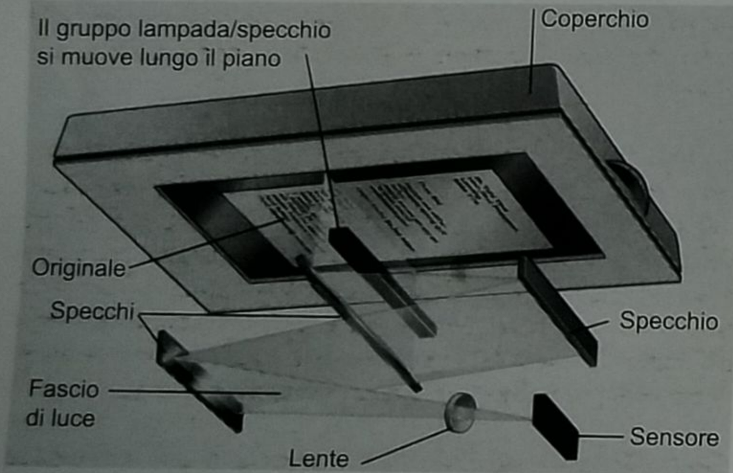


Fig. 34. Nello scanner con funzionamento in modalità riflessione, la luce della lampada lineare è posta sotto il piano ed illumina l'originale; un sistema di specchi ed un obiettivo indirizzano l'immagine sopra il sensore lineare.

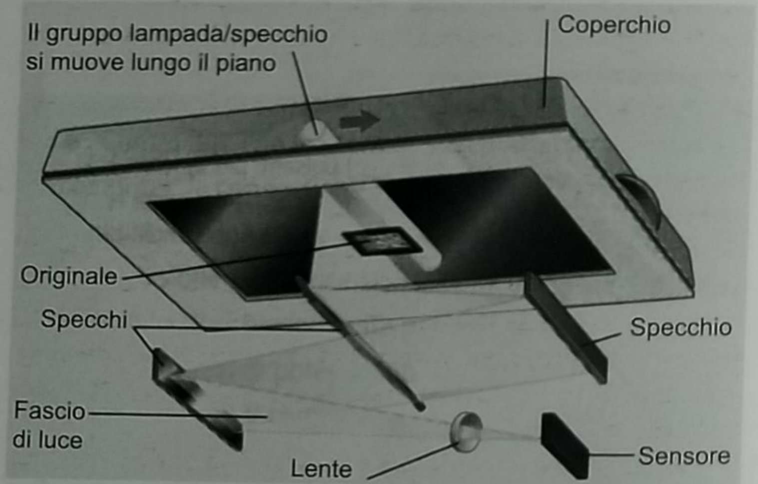


Fig. 35. Nel funzionamento dello scanner in modalità trasparenza, la lampada lineare scorre all'interno del coperchio dello scanner muovendosi in sincronia con il primo specchio ed indirizzando allo stesso modo l'immagine sul sensore lineare per mezzo dell'obiettivo.

Inizialmente gli scanner sono stati progettati per digitalizzare le immagini fotografiche da utilizzare con il sistema offset della stampa tipografica. Con l'evoluzione e personalizzazione dei computer, in grado di manipolare immagini fotografiche mediante programmi informatici dedicati, l'industria è stata stimolata a produrre scanner di piccole dimensioni per uso domestico che, nella loro evoluzione, sono attualmente in grado di riprodurre immagini ad un ottimo livello semiprofessionale.

La tecnica della ripresa

Attualmente le case produttrici di materiale fotografico sono sempre più orientate a dotare le loro fotocamere di veri e propri computer finalizzati all'impostazione di differenziabili programmi per la determinazione del diaframma e del tempo, per sofisticati sistemi di messa a fuoco e per stabilizzare movimenti manuali della fotocamera durante l'operazione di scatto; non è da escludere che, in futuro, possano essere residenti in fotocamere anche professionali programmi informatici che sconsiglino un'inquadratura motivandone le ragioni. Questo indirizzo è determinato sia dall'esigenza di rapidità d'esecuzione, necessaria nella fotografia d'attualità, sia da esigenze commerciali, tese a rendere la fotografia alla portata di tutti.

Nella fotografia d'architettura il controllo dell'immagine è determinante, così come lo è la qualità dell'immagine, ma non sempre le condizioni di ripresa corrispondono ai parametri assunti dalle ditte per la produzione delle fotocamere automatiche. Per fotografie professionali, ogni tipo di automatismo è sconsigliabile: il loro uso, infatti, senza concedere il tempo alla riflessione necessaria a individuare angoli e situazioni di ripresa più rispondenti alle esigenze, può erroneamente indurre a credere che ogni fotografia sia stata correttamente eseguita.

Nell'effettuare una documentazione fotografica che possa contribuire a integrare una più complessa rilevazione d'architettura, le operazioni tecniche per le quali è necessaria molta attenzione sono sostanzialmente due: il controllo dell'inquadratura e la determinazione della corretta esposizione.

L'inquadratura. Il grande fotografo Alfred Stieglitz considerava la fotografia come «l'equivalente di quanto vidi e sentii»[21], in cui il sentire è da identificare con il senso di emozione. Nella fotografia d'architettura è fondamentale conoscere profondamente quello che si vede (non solo con gli occhi, ma con tutte le altre informazioni già esistenti nella memoria e frutto di uno specifico studio condotto) e cercare, fra le infinite possibili inquadrature, quella che meglio rappresenta l'equivalente di quanto il fotografo sente essere rappresentativo del proprio pensiero: l'esperienza dimostra che un generico professionista della fotografia, solo per il fatto di conoscere la tecnica fotografica, non è in grado di eseguire significanti fotografie d'architettura.

L'inquadratura è un taglio arbitrario della scena: è necessario, quindi, in primo luogo controllare che essa contenga tutte le informazioni percepite dall'occhio e viste e giudicate opportune dalla mente, escludendo particolari indesiderati e modificando il punto di vista; e poi che l'inquadratura stessa abbia anche opportuni margini necessari, e spesso indispensabili, in sede di utilizzazione delle fotografie.

La documentazione di un soggetto architettonico deve essere completa di vedute d'insieme, di elementi architettonici, quali portali e finestre, e di particolari. Per quanto possibile, ciascun elemento va ripreso di prospetto, in prospettiva, con linee verticali parallele, di scorcio, affinché possano essere documentate le tessiture esistenti nei sottosquadri.

Il punto di vista. Il punto di vista è dato dalla posizione della fotocamera in rapporto all'oggetto della ripresa e non dalla focale dell'obiettivo utilizzato, che determina solo la porzione del campo visivo che si vuole fotografare. La ricerca del punto di vista significativo richiede tempo e attenzione: le finestre di un edificio che fronteggia l'oggetto della fotografia, una scala a libretto, il cestello di una gru, un aereo, un elicottero sono mezzi utili per individuare punti di vista significativi.

Controllo della prospettiva. La fotografia di una facciata o di un particolare, ripresi di prospetto, risulta utile per una lettura delle giuste proporzioni, ma anche, note alcune dimensioni, per ricavare o verificare, con una proporzione, le misure di un rilievo (fig. 36). A questo fine è necessario, in sede

Fig. 36. L'ingresso nel nuovo Louvre della Biblioteca Imperiale in una fotografia di Edouard-Denis Baldus (1855-1857 ca.) appartenente alla Collezione della Biblioteca Nazionale di Parigi. La fotografia consente restituzioni metriche per il rigoroso controllo dell'immagine mediante: una scelta del punto di vista centrale rispetto al portale, un controllo della prospettiva tramite il decentramento dell'obiettivo, lo sfruttamento della massima profondità di campo per mezzo del basculaggio e la trasparenza delle ombre in facciata.

Fig. 37. Fotografia, eseguita nel 1926 da Lucia Moholy, dell'edificio della Bauhaus a Dessau di Walter Gropius. In essa prevale l'interesse per il documento storico dello stato originario, mentre è messa in secondo piano la convergenza delle linee verticali.

Fig. 38. Roma, chiesa di Sant'Ivo alla Sapienza, interno della cupola. Immagine volta a far comprendere la dinamica compositiva dell'opera borrominiana. Fotografia O. Savio.

di ripresa, prevedere e saper esercitare un controllo della prospettiva.

Se l'asse ottico della fotocamera è inclinato rispetto al piano della facciata, saranno inclinati rispetto ad essa, sia il piano dell'obiettivo che quello della pellicola: le immagini risulteranno in prospettiva (figg. 37, 38, 39). Se è possibile ruotare il piano della pellicola, rispetto all'asse ottico della ripresa, in modo da renderlo parallelo al piano della facciata, l'immagine fotografica sarà priva di prospettiva. Alcuni obiettivi (per la Nikon e l'Hasselblad, con una slitta parte integrante dell'obiettivo stesso; per la Silvestri, con la piastra-slitta, su cui vengono montati) consentono questo controllo mediante il loro decentramento rispetto alla posizione standard, permettendo in sostanza di inclinare l'asse ottico di ripresa rispetto alla facciata, ma allo stesso tempo di mantenere il parallelismo tra quest'ultima e la pellicola.

Fig. 39. Frascati, Villa Falconieri, cancello d'ingresso. L'inquadratura dal basso, che forza la convergenza delle linee verticali e che esalta la presenza dell'antico leccio, è stata eseguita per mettere in evidenza la concavità della struttura architettonica. Fotografia G. Stockel.

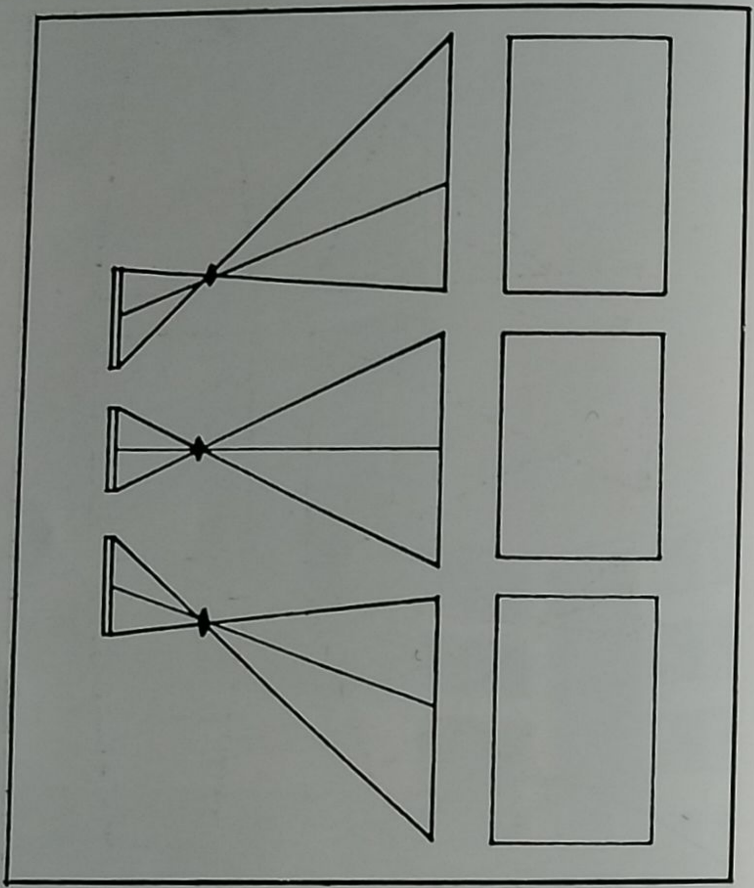


Fig. 40. Mantenendo la pellicola, ossia il piano di rappresentazione, parallela alla facciata dell'edificio e decentrando in alto o in basso l'obiettivo fotografico, ossia il centro di proiezione, si riesce ad includere nel fotogramma parti troppo alte o troppo basse che altrimenti sarebbero risultate escluse nell'inquadratura ma senza che le linee verticali risultino convergenti.

Condizione necessaria e indispensabile perché un'immagine fotografica sia priva di prospettiva è che il piano della pellicola sia parallelo alla facciata dell'oggetto della ripresa (fig. 40). Se il piano della pellicola è ruotato rispetto a una retta verticale parallela alla facciata, l'immagine sarà in prospettiva, con le linee verticali parallele, e quelle orizzontali risulteranno convergenti in un punto di fuga situato sulla linea d'orizzonte; se la rotazione del piano della pellicola avviene secondo una retta orizzontale, le linee orizzontali saranno parallele tra loro e quelle verticali risulteranno convergenti (fig. 41).

Ove non si posseggano livelle per disporre in verticale il piano della pellicola, né un vetro smerigliato per la messa a fuoco, dotato di reticolo ortogonale cui riferire le linee verticali e orizzontali, né sia possibile effettuare decentramenti dell'obiettivo per la correzione della prospettiva, è necessario stimare a quale altezza si trovi, sull'oggetto della ripresa, l'orizzonte rispetto alla posizione della fotocamera, individuare su questo orizzonte il punto centrale del soggetto, collimare il riferimento di centro del mirino della fotocamera su questo punto di riferimento, controllare che le linee orizzon-

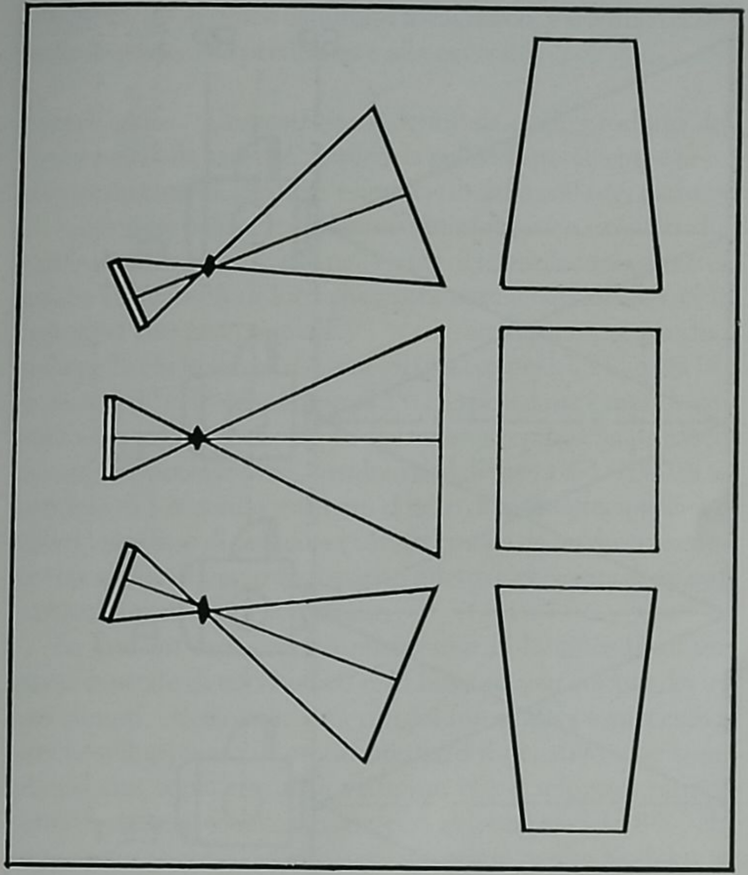


Fig. 41. Inclinando verso l'alto o verso il basso l'asse ottico della fotocamera, il piano della pellicola dove si forma l'immagine risulta non parallelo al piano della facciata di un edificio e di conseguenza la sua rappresentazione presenta un terzo punto di fuga F^3, oltre ai due correnti F^1 ed F^2 presenti sulla linea dell'orizzonte, generando linee verticali convergenti.

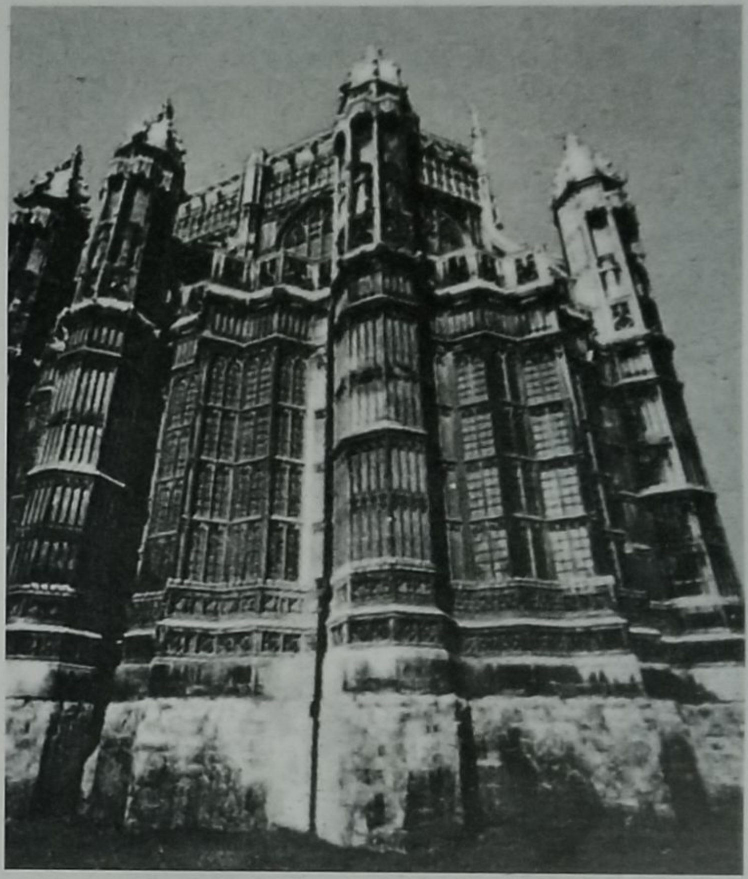


Fig. 42. Fotografia di un edificio ripreso dal basso, ove il piano della pellicola non è stato posto parallelo al fronte dell'edificio.

tali siano il più possibile parallele ai bordi superiore e inferiore del mirino ed accontentarsi di quanto l'obiettivo utilizzato consente di riprendere della scena voluta. Nel caso di una fotografia zenitale, che ritragga, ad esempio, l'interno di una cupola, ove non si voglia deformazione prospettica, il sistema è quello di controllare che sia in bolla la ghiera dell'obiettivo, verificando che sia orizzontale una livella poggiata sulla ghiera per due direzioni tra loro ortogonali.

Un certo controllo della prospettiva, sia per il raddrizzamento delle linee verticali che per quelle orizzontali, può essere effettuato in sede di stampa, mediante opportuni basculaggi del marginatore della carta, del portapellicola e della ghiera che supporta l'obiettivo (figg. 42, 43, 44)[22].

Fotomosaico. Se l'insieme architettonico da documentare non è contenibile all'interno di una sola immagine, è utile poter comporre un mosaico dei fotogrammi che lo ritraggono: condizione necessaria è che tutte le riprese siano state effettuate con i piani pellicola sempre paralleli fra loro (fig. 45). La fotografia digitale consente con estrema facilità la com-

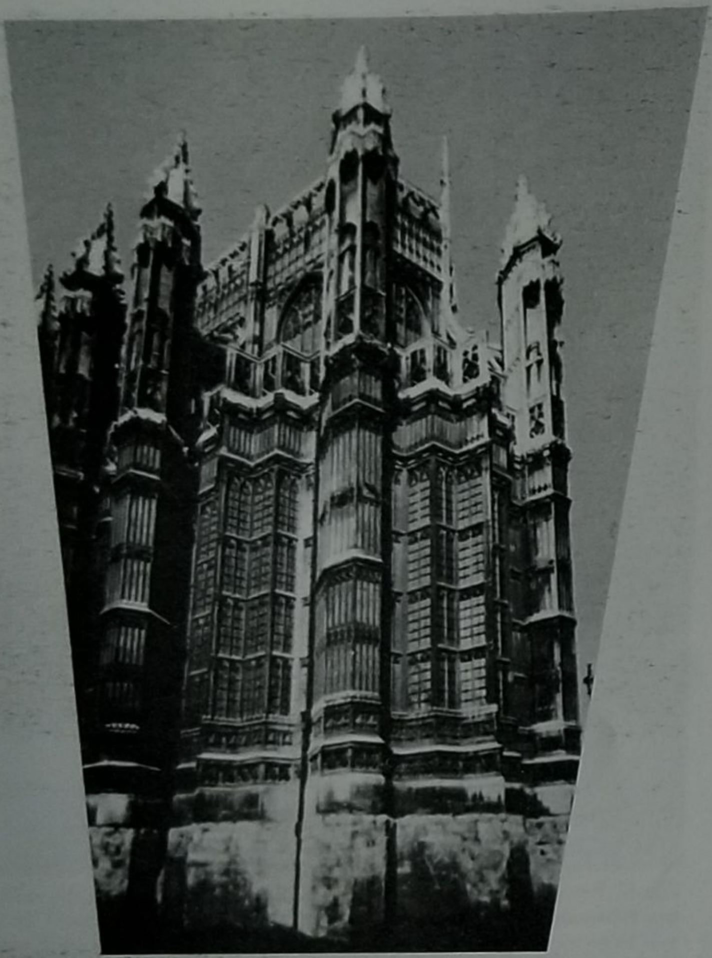


Fig. 43. Raddrizzamento dell'immagine precedente ottenuto, in sede di stampa su carta, mediante il basculaggio del piano portacarta, del piano portapellicola e del piano portaobiettivo.

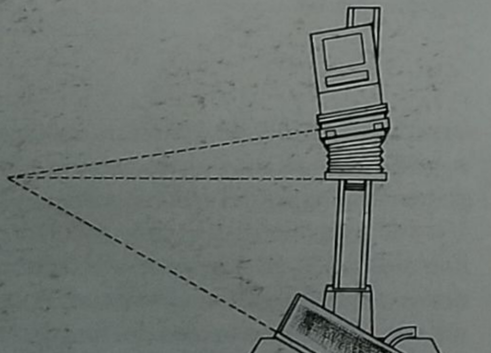


Fig. 44. Affinché nell'operazione di raddrizzamento di un'immagine, in sede di stampa, siano a fuoco tutti i punti dell'immagine stessa, è necessario che i tre piani del portacarta, del portapellicola e quello ortogonale all'asse dell'obiettivo si incontrino in una stessa retta.

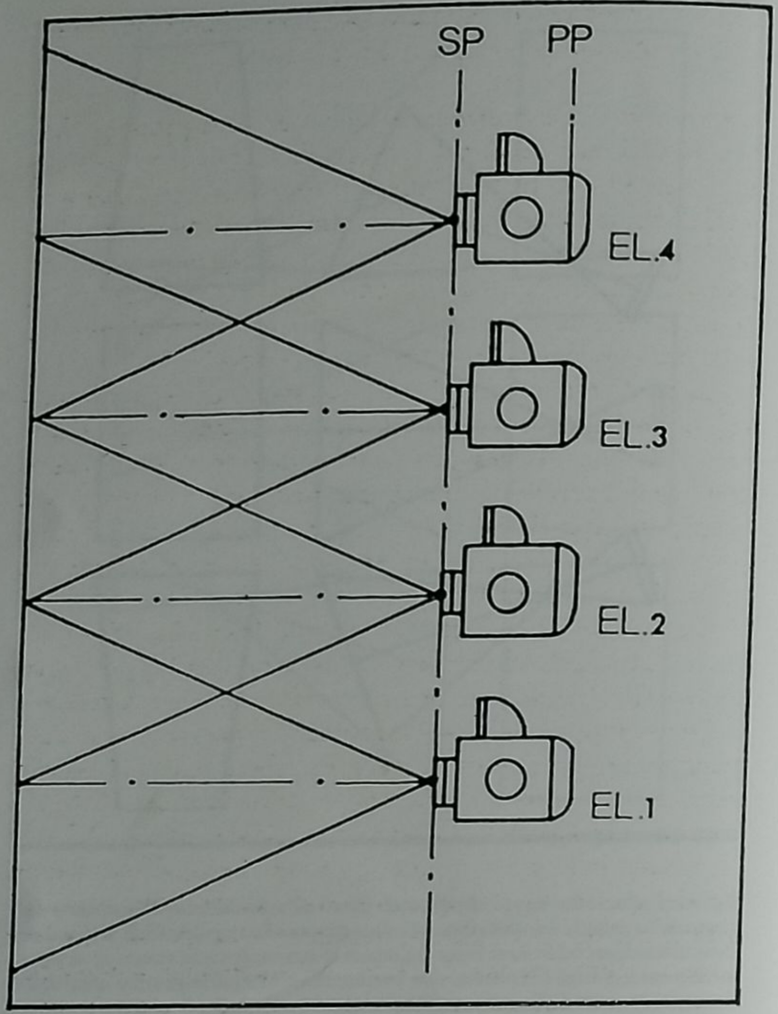


Fig. 45. Schema che illustra lo spostamento di una fotocamera per la costruzione del fotomosaico di un prospetto edilizio.

posizione di un unico elaborato fotografico, partendo da una serie di fotografie predisposte alla necessità.

L'esposizione. L'esposizione è definibile quale prodotto dell'intensità della luce che colpisce la pellicola per il tempo in cui essa viene esposta alla luce. Ogni scatto della scala dei diaframmi raddoppia o dimezza l'intensità luminosa che attraversa l'obiettivo; anche ogni scatto nella scala dei tempi raddoppia o dimezza la quantità di luce che entra attraverso l'obiettivo: ne consegue che una coppia F^1/T^1 (diaframma/tempo) produce sulla pellicola lo stesso risultato di una coppia F^2/T^2, in cui F^2 è la metà di F^1 e T^2 è il doppio di T^1. L'esposizione è quindi assimilabile a una serie di coppie diaframma/tempo che producono sulla pellicola lo stesso risultato. Al di sopra di 1/1000 di secondo e di 1 secondo esiste un difetto di questa reciprocità di valori; ogni tipo di pellicola è caratterizzata da un diverso comportamento nei riguardi di questo difetto e necessita di una sua particolare tabella di correzione.

Se con un esposimetro misuriamo la luminosità di una parte centrale di telo bianco e, in base ad una coppia dei valori stimati, effettuiamo una ripresa fotografica e successivamente sviluppiamo in modo standard il negativo e ne stampiamo una copia su carta, vedremo che il telo sarà rappresentato da una tonalità grigia con riflettanza del 18%, che rappresenta il tono del «Cartoncino grigio medio Kodak». Se ripetiamo la stessa ripresa con un telo nero, al termine del processo esso verrà rappresentato da una tonalità grigia con riflettanza del 18%, che rappresenta il tono del «Cartoncino grigio medio Kodak». Sembra un paradosso, ma non è tale: la realtà del funzionamento dell'esposimetro è quella di valutare una media di tutte le luci presenti nella scena e di proporne una miscela pari al «Cartoncino grigio medio Kodak».

Resta quindi da vedere quale sia il metodo più efficiente per determinare l'esposizione più adeguata e necessaria per la ripresa di un soggetto che include, in varia misura, parti in ombra e parti in luce (figg. 46, 47). Un validissimo metodo è quello del «sistema zonale», studiato e proposto dal fotografo americano Ansel Adams[23].

Nel sistema zonale la scala dei valori tonali in sede di stampa è stata suddivisa in undici zone, in modo tale che la variazione di esposizione tra una zona e l'altra corrisponda a un diaframma (fig. 48). Le zone vanno dalla «zona X», che

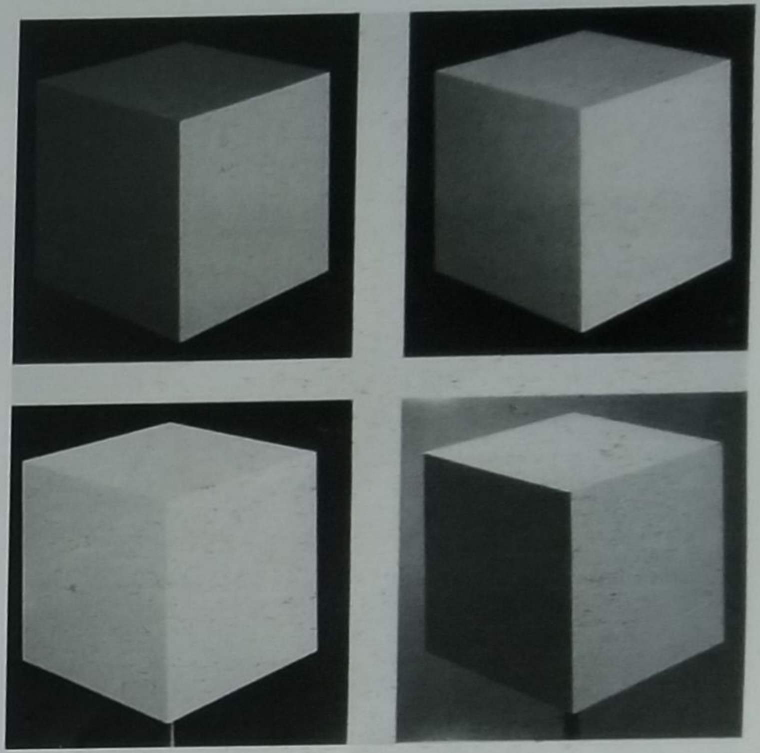


Fig. 46. Quattro immagini fotografiche dello stesso cubo ottenute cambiando solo l'illuminazione.

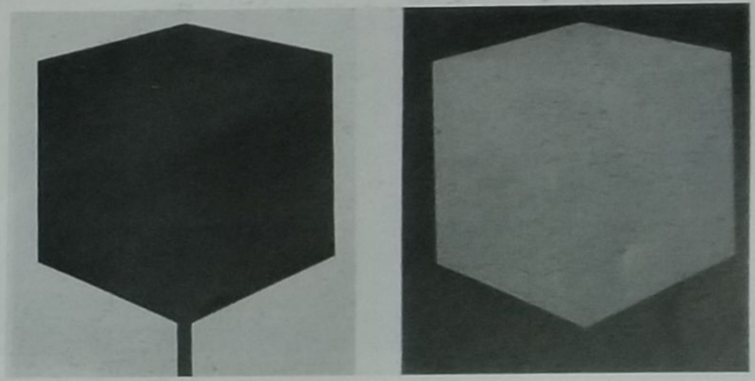


Fig. 47. Le facce del cubo hanno la stessa illuminazione, non sono visibili gli spigoli.

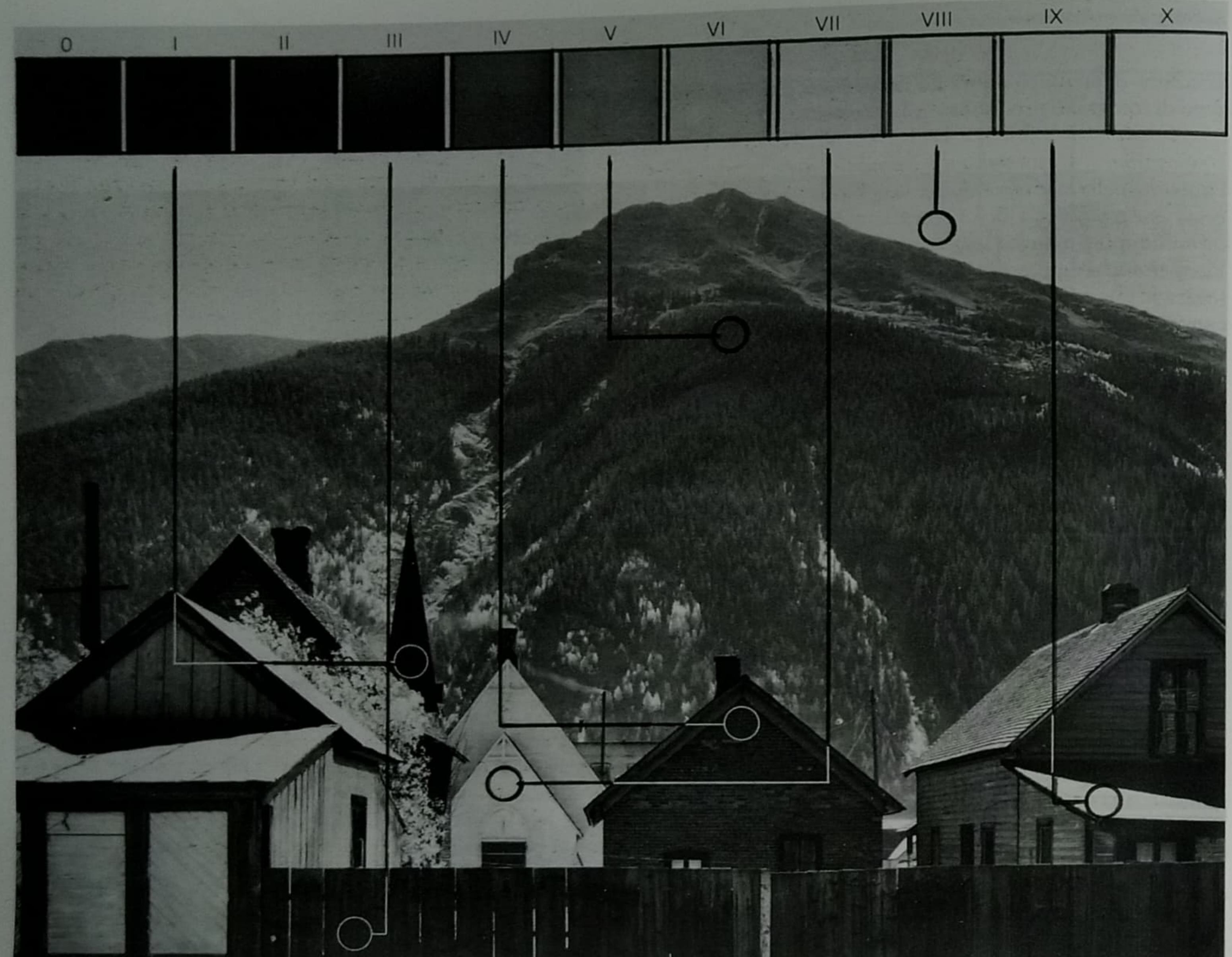


Fig. 48. Il sistema zonale, la scala delle luminanze nelle undici zone e la resa tonale, in sede di stampa, in una fotografia di Silverston, Colorado, eseguita da A. Adams.

corrisponde al bianco assoluto, alla «zona 0», che corrisponde al nero assoluto (nella pratica fotografica il bianco corrisponde alla «zona IX», il nero alla «zona I»); centralmente, la «zona V» corrisponde a quel grigio medio 18% di riflettanza del cartoncino Kodak. I valori bassi vanno dalla «zona 0» alla «zona III», quelli medi dalla «zona IV» alla «zona VI» e quelli alti dalla «zona VII» alla «zona X»[24].

La corretta esposizione di una fotografia d'architettura deve consentire, in sede di stampa, la lettura della trama significativa, sia nelle parti luminose che nelle zone in ombra. Nella fotografia in bianco e nero è consigliabile prestare maggiore attenzione alla determinazione dell'esposizione da dare per le parti in ombra rispetto a quelle in piena luce; mentre in queste ultime, infatti, il deposito di sali d'argento è rilevante, in quelle in ombra spesso il deposito è talmente basso e il negativo è così trasparente che risulta difficile, in sede di stampa, far comparire la trama significativa desiderata.

Anche se sommariamente e in modo semplificato, un'applicazione del sistema zonale può seguire due strade: una diretta e una di verifica.

Nel metodo diretto è necessario individuare le parti in ombra dove si desidera ancora leggere la trama, scegliere su un esposimetro (preferibilmente del tipo Spotmeter) la coppia diaframma/tempo più opportuna, rispondente al valore della luminosità per quell'area (che fornirebbe un valore di stampa pari al grigio medio Kodak della «zona V»), far cadere il valore della parte in ombra presa in considerazione nella «zona III», chiudendo il diaframma di due stop, e verificare che le parti in luce, nelle quali si desidera percepire ancora la trama, non cadano oltre la «zona VII».

Nel metodo per verifica bisogna misurare, con un esposimetro ad ampio angolo di lettura (nel Luna Pro è di circa 30°), la luminosità di tutta la scena oggetto della ripresa, scegliendo la coppia diaframma/tempo più opportuna, e verificare che le parti in ombra e quelle in luce, nelle quali la trama deve risultare leggibile, non cadano rispettivamente due diaframmi in meno o in più rispetto al valore fornito dall'esposimetro. In caso non fossero verificate queste condizioni, sarà necessario modificare i dati dell'esposizione di tanti diaframmi in più o meno, a seconda della situazione, fino a includere fra la III e la VII zona i valori luminosi di tutte le aree per le quali si ha interesse[25].

Lo sviluppo e la stampa

La stampa fotografica tradizionale. Se per tutte le operazioni che precedono lo scatto è sufficiente avere solo una fotocamera, per quelle che avvengono dopo lo scatto è necessario un laboratorio tanto più sofisticato, quanto maggiori sono le esigenze in fatto di prodotto finale. Le operazioni che seguono lo scatto sono lo sviluppo del negativo, la stampa su carta fotografica e l'archiviazione[26].

La camera oscura. Una camera oscura è progettata con cura: sono necessari un'adeguata ventilazione forzata, un impianto idrico con scaldacqua ed uno scarico provvisto dei dispositivi antinquinamento, un impianto elettrico dotato di messa a terra, un sistema antincendio e un ordine ed una pulizia quasi maniacali. Le attrezzature per i trattamenti asciutti e per quelli umidi sono disposte su pareti opposte. Operazioni da compiere nella zona asciutta sono il caricamento delle pellicole nelle bobine o negli chassis e l'uso dell'ingranditore e delle carte fotografiche. Nella zona umida avviene il caricamento dei tank e della bacinella con reagenti chimici per le operazioni di sviluppo, arresto, fissaggio e lavaggio dei negativi e delle copie su carta (fig. 49).

Lo sviluppo dei negativi. Terminate le riprese, la prima operazione da svolgere è quella di sviluppare i negativi, per trasformare l'immagine latente in immagine visibile e renderla stabile, in modo da impedire che l'azione svolta dalla luce possa ancora modificare l'immagine a causa della presenza di granuli di alogenuri d'argento residui. L'azione della luce modifica la carica elettrica interna al cristallo di alogenuro d'argento, rendendolo sensibile all'azione dei composti chimici del rivelatore in modo direttamente proporzionale all'energia ricevuta durante l'esposizione alle onde elettromagnetiche dei raggi luminosi. Per arrestare l'azione alcalina del rivelatore sui cristalli di alogenuro, la pellicola viene lavata in un bagno moderatamente acido. Dopo lo sviluppo, il negativo contiene all'interno dell'emulsione ancora cristalli di alogenuro d'argento che non sono stati esposti alla luce; la loro rimozione viene effettuata con un bagno, detto fissatore. Un abbondante lavaggio in acqua corrente è necessario per eli-

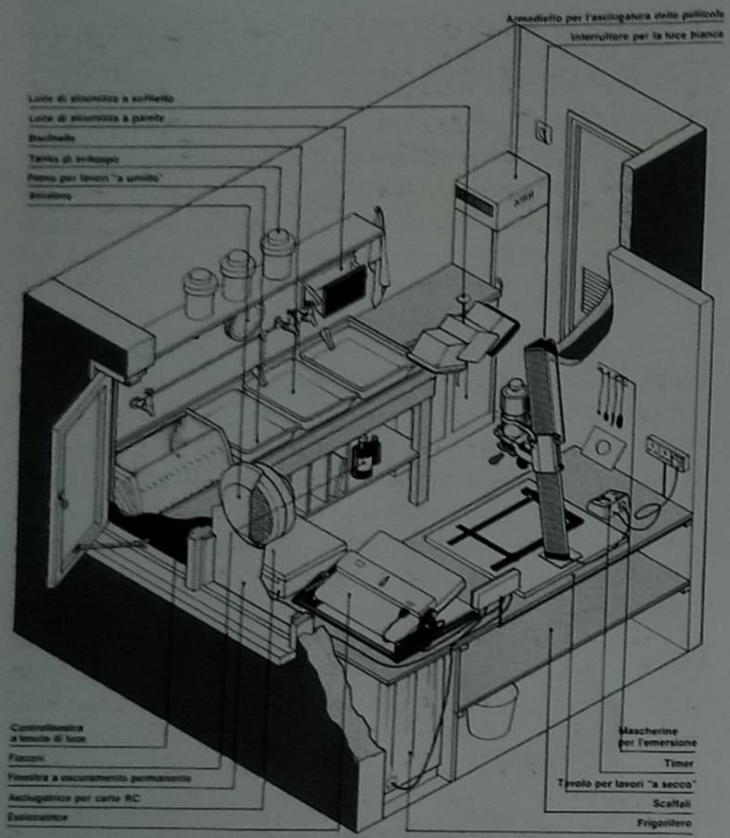


Fig. 49. Una piccola ma organizzata camera oscura semiprofessionale.

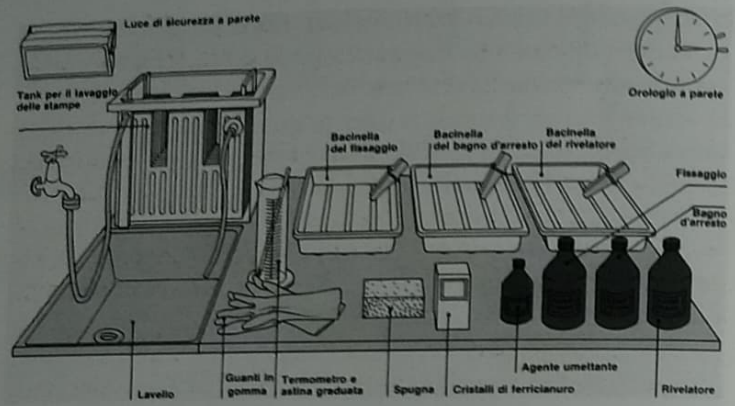


Fig. 50. La zona per le operazioni umide dove avviene lo sviluppo, arresto, fissaggio e lavaggio sia dei negativi che delle stampe su carta.

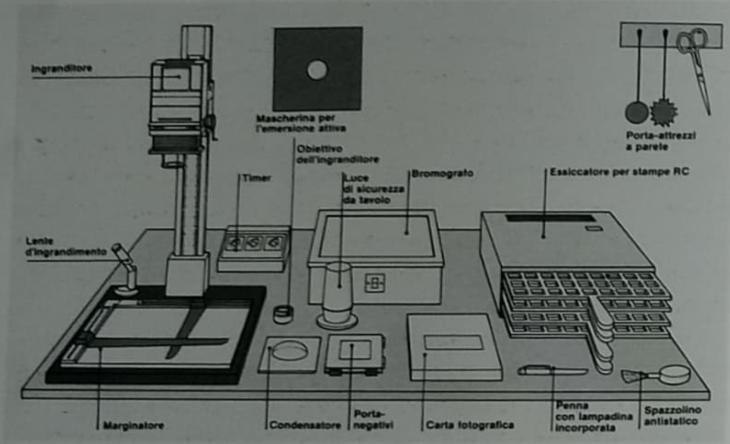


Fig. 51. La zona della camera oscura in cui avvengono le operazioni asciutte e le operazioni di ingrandimento su carta dei fotogrammi negativi mediante un proiettore.

minare ogni traccia di agenti chimici residuali, che potrebbero in seguito arrecare danni all'immagine (fig. 50).

La stampa su carta. Per ottenere una stampa positiva, osservabile in ogni suo dettaglio, è primariamente necessario un negativo di buona qualità. La realizzazione di una stampa nasce dalla combinazione tra la meccanicità delle operazioni, determinate dal negativo, e l'attività creativa dell'esecutore della stampa fotografica. Nella camera oscura, al fotografo è necessario avere memoria del perché ha sentito di dover riprendere quell'evento. Questo ricordo, o per lo meno quello che si ricorda dell'evento, è la base su cui dovrebbe essere calibrata la stampa. Sulla carta apposita vengono applicati uno strato di barite variamente pigmentato, un'emulsione di alogenuri d'argento e una sua protezione in gelatina. Il trattamento è costituito dal tempo di esposizione più idoneo in base alla sensibilità della carta, dai rivelatori necessari per sviluppare l'immagine latente, da un bagno d'arresto per interrompere l'azione dei rivelatori, da un fissaggio, dal prolungato lavaggio per rimuovere ogni residua traccia di agenti chimici e dall'asciugatura del foglio di carta stampata. La procedura è in funzione, quindi, di un buon numero di variabi-

li, dalla cui interpretazione e dal cui dosaggio il fotografo fa dipendere la riuscita di una stampa che rappresenti quello che egli vuole comunicare (fig. 51).

La stampa fotografica con tecnologie informatiche. Profonda è la differenza esistente, nella stampa su carta, fra la tecnologia fotografica tradizionale, basata su reazioni chimiche, e quella che utilizza i sistemi informatici per produrre una immagine analogica da un file numerico, rappresentativo delle diverse luci campionate dai pixel del CCD.

La stampa fotografica tradizionale è prodotta da granuli di alogenuri d'argento, opportunamente mescolati con particolari sostanze, dette copulanti cromatici, spalmati sopra un supporto di carta in diversi strati, a seconda che si tratti di una stampa a colori o in bianco e nero. In sede di sviluppo i sali di argento si trasformano in cristalli d'argento metallico, anch'essi opportunamente mescolati ai pigmenti colorati che derivano della trasformazione dei copulanti. Dopo un forte ingrandimento, sulla stampa fotografica finale appaiono granuli di diverse dimensioni, che sono disposti in modo irregolare e non geometrico, con una concentrazione e spessore variabili, consentendo alla luce che illumina la stampa di interagire, riflettendosi sulla sottostante carta bianca, oltre che essere riflessa in modo differenziato dai pigmenti colorati che incontra sul suo tragitto.

Nella stampa di un'immagine digitalizzata, diversi sistemi esistenti sono caratterizzati dal depositare, in varia maniera, inchiostri sopra un supporto di carta con caratteristiche dovute alla diversa qualità delle stampanti, della carta stessa e degli inchiostri utilizzati.

Dal momento che i sistemi di stampa delle immagini della fotografia tradizionale e quelli della fotografia digitale sono profondamente diversi, tali saranno le rispettive rese percepibili visivamente.

La stampa tipografica aveva già risolto il problema di come realizzare le mezzetinte, ossia quello di ottenere diverse sfumature di uno stesso colore. Interponendo un retino tra il negativo e lo strato fotosensibile della lastra di zinco, per un fenomeno di interferenza durante l'esposizione alla luce delle lampade, l'immagine risulta scomposta in punti piccoli, nelle parti chiare del negativo, e grandi in quelle scure. Nella stampa monocromatica un cliché risulta sufficiente, in

Fig. 52. Il driver di stampa fornisce direttamente i quattro retini (CMYK) ruotati fra loro per non generare sovrapposizione di punti.

quella a colori è necessario produrre quattro lastre, ciascuna per i rispettivi inchiostri ciano, magenta, giallo e nero. Per evitare una sovrapposizione dei punti, i retini dei quattro colori vengono orientati differentemente: il giallo a 90°, il ciano a 75°, il nero a 45° ed il magenta a 15°. Una stampa in bianco e nero di elevata qualità viene ottenuta utilizzando tre o quattro inchiostri: uno nero e due o tre con diverse gradazioni di grigio.

Nella stampa informatica, quando il file di un'immagine a colori viene indirizzato alla stampante, il sistema operativo del computer elabora quattro differenti file, corrispondenti alle ratinature dei quattro canali cromatici CMYK (Cyan Magenta Yellow BlacK), che vengono smistati alle competenti testine della stampante (fig. 52).

Per un output delle immagini digitalizzate, tre sono le principali tecnologie di riferimento: la stampante laser, quella a sublimazione e quella a getto d'inchiostro.

Stampanti laser. Questo tipo di stampante deriva dall'esperienza acquisita nel settore delle fotocopiatrici. Un raggio laser, di intensità proporzionale alla luminosità dei diversi pixel che compongono l'immagine, elettrizza per punti la superficie di un rullo; i punti, caricati di elettricità statica, attraggono una polvere finissima, che viene trasferita sulla carta e successivamente fusa con il calore di una resistenza elettrica: solo polvere nera (toner) per il bianco e nero; polveri ciano, magenta, giallo e nero per un'immagine a colori. Per un'immagine in bianco e nero, il foglio di carta compie una sola passata in macchina; per una stampa a colori, il foglio di carta deve passare quattro volte in macchina, tante quanti sono i colori. Una stampa laser genera un'immagine per punti, non

un'immagine con sfumature a toni continui. Stampanti più recenti sono in grado di fornire una risoluzione di 1200 dpi; la capacità di risoluzione dell'occhio umano, a questa risoluzione, percepisce un tono continuo.

Stampanti a sublimazione. Con il termine sublimazione si intende il passaggio diretto dallo stato solido allo stato gassoso, senza passare attraverso lo stato liquido. Per una stampa a colori, un ago caldo tocca un foglio contenente allo stato solido uno dei quattro pigmenti ciano, magenta, giallo e nero, liberando un getto di gas che va ad aderire su un foglio di carta speciale, solidificandosi nuovamente: non si tratta di un punto definito, ma di una piccola nuvoletta sfumata ai bordi, che va a fondersi con quelle vicine, assicurando all'immagine una sfumatura a tono continuo. Per ottenere una stampa a colori, il foglio di carta deve passare quattro volte all'interno dei meccanismi di stampa. Uno strato finale, ultravioletto, uniforme, di protezione ai colori, consentirà la produzione di una stampa cromaticamente stabile, che può essere facilmente scambiata per una stampa fotografica smaltata tradizionale. Questo tipo di stampanti produce stampe di incredibile nitidezza, pur con risoluzioni pari ed inferiori a 400 dpi. Le operazioni di stampa sono estremamente lente rispetto alla stampa laser. Il costo della stampante è generalmente alto; le matrici nei quattro colori della stampa, e la carta speciale necessaria lo sono altrettanto. A fronte, la qualità dell'immagine è molto elevata.

Stampanti a getto d'inchiostro. Queste stampanti funzionano sparando sulla carta un piccolissimo getto di inchiostro, delle dimensioni da uno a cinque picolitri (un picolitro corrisponde ad un trilionesimo di litro). Due sono le tecnologie utilizzate per realizzare questi minuscoli spruzzi di pigmento liquido: la prima, introdotta inizialmente dalla Epson, sfrutta le proprietà dei cristalli piezoelettrici, detti trasduttori, che hanno la proprietà di dilatarsi, se attraversati da una corrente elettrica; nella seconda tecnologia, introdotta dalla Hewlett Packard e poi dalla Canon, un elemento termico, attraversato da una corrente elettrica, produce un riscaldamento dell'inchiostro che, dilatandosi, fuoriesce violentemente dal foro della testina (fig. 53). Le testine presentano dai 500 ai 1000 fori di un diametro attualmente inferiore ai 50 micron, collegati a piccoli serbatoi intercambiabili contenenti inchiostro. Inizialmente le stampanti erano dotate di quattro serbatoi d'inchiostro per il ciano, il magenta, il giallo e il nero; stampanti di ultima generazione, anche non professionali, oltre ai quattro serbatoi tradizionali ne contengono altri, sia per inchiostri a tonalità più leggere, sia per liquidi protettivi dai raggi ultravioletti, consentendo agli stessi una maggiore stabilità nel tempo. Queste stampanti presentano, rispetto a quelle laser e a quelle a sublimazioni, alcuni vantaggi: maggior velocità di esecuzione, essendo i colori trasferiti sulla carta con un solo passaggio, per il fatto che nella testina sono alloggiati gli ugelli di tutti i serbatoi d'inchiostro; maggior gamma cromatica, possibile per l'introduzione della esacromia; maggiore nitidezza ed accuratezza; possibilità di utilizzare diversi tipi di carta e prezzi d'acquisto decisamente inferiori, anche se il costo delle cartucce di ricambio, di qualsiasi marca produttrice delle stampanti, risulta in genere eccessivo.

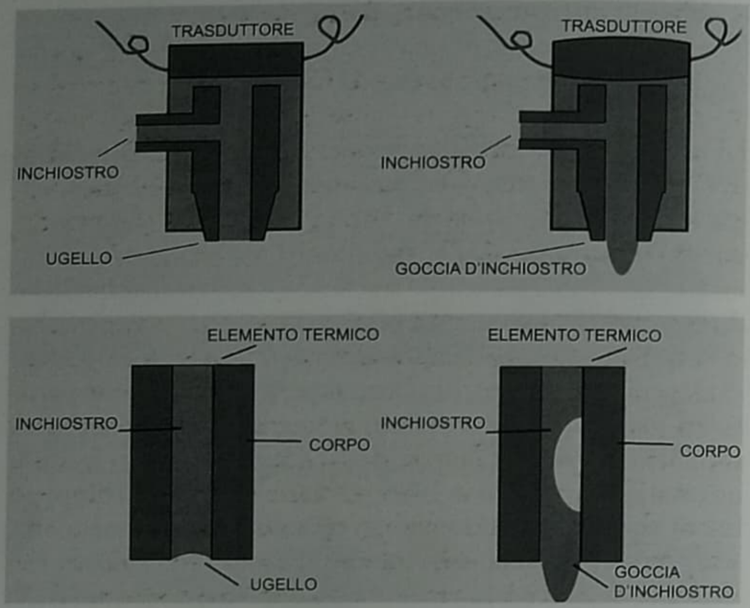


Fig. 53. In alto, il sistema brevettato e prodotto dalla Epson sfrutta le proprietà dei cristalli piezoelettrici di vibrare se attraversati da una corrente elettrica, vibrazione che spinge l'inchiostro attraverso l'ugello. In basso, nel sistema bubble-jet brevettato dalla Hewlett Packard, in seguito adottato dalla Canon, una resistenza elettrica riscalda bruscamente l'inchiostro che con la sua dilatazione spruzza una goccia d'inchiostro attraverso l'ugello.

Archiviazione e conservazione delle immagini

Affinché una campagna fotografica possa sempre risultare utile, senza che vengano perse preziose e indispensabili informazioni, sono necessarie operazioni sistematiche, indirizzate, da una parte, alla conservazione del materiale fotografico e, dall'altra, a lasciare una traccia valida per una futura utilizzazione delle riprese.

Annotazioni. In sede di ripresa è necessario e indispensabile tenere un diario delle operazioni in un registro su cui, per ciascun fotogramma e per ciascun negativo, vengano annotati: una sommaria descrizione del soggetto; i riferimenti a eventuali eidotipi o planimetrie; la data e l'ora della ripresa; il tipo di luce utilizzata; i dati sull'esposizione, sia del tipo e valore di lettura dell'esposimetro che della coppia diaframma/tempo usati; il tipo di pellicola; il tipo di fotocamera e di obiettivo adoperati; alcune annotazioni sulla scelta del punto di vista e il nominativo dell'operatore o degli operatori che hanno effettuato la ripresa[27].

Catalogo. Un tempo compilato su registri cartacei, oggi più efficacemente utilizzando i vantaggi dei computer in fatto di capacità, di sistematicità e, infine, di rapidità di consultazione, il catalogo delle riprese deve contenere, in forma di scheda: informazioni e riferimenti circa il lavoro di rilevamento architettonico (elaborati in forma di scheda autonoma) a cui si riferiscono le riprese fotografiche; riferimenti bibliografici, elaborati anch'essi in forma di scheda autonoma; tutti i parametri e le annotazioni effettuate durante le riprese fotografiche di cui al paragrafo precedente; un'eventuale immagine da scansione del fotogramma originale; la collocazione del negativo e l'indicazione del numero del fotogramma; la collocazione di eventuali stampe su carta o altro supporto[28].

Conservazione dei negativi e delle stampe. Trattandosi di materiale sensibile alla luce e alle sostanze chimiche, sia i negativi che le diapositive, sia le stampe su carta o su altri supporti sono destinati a un naturale deperimento. È possibile ritardare, ma non impedire questo processo di senescenza: a diverse modalità di conservazione corrispondono una diversa durata e un diverso tipo di degrado.

Per il materiale negativo, condizioni per una buona conservazione sono: non toccare con le dita le superfici del negativo; conservare le strisce all'interno dei contenitori di plastica speciale in cui vengono riposti dai laboratori fotografici; conservare ciascun negativo separatamente, entro buste di carta speciale; rilegare in album, da conservare separatamente dai negativi, i fogli dei contatti delle pellicole; conservare le buste dei negativi entro cassetti che abbiano tenuta della luce e siano realizzati in plastica di buona qualità, che non emetta sostanze chimiche volatili (spesso il legno può essere dannoso); conservare le cassettiere dei negativi e delle stampe in ambienti aerati e privi di umidità e assolutamente non all'interno dei laboratori per lo sviluppo e stampa, per l'inevitabile presenza di sostanze chimiche volatili[29].

Per quanto riguarda le diapositive, è da evitare la conservazione fra due vetrini, che possono produrre muffe e pericolose adesioni fra la diapositiva stessa ed i vetrini; esistono album specialmente dedicati e costituiti da fogli stampati, che consentono una certa aerazione.

Per le stampe su carta, ottimi sono i cassetti metallici dei classificatori oppure i faldoni di cartone, purché conservati in armadi bui, al fine di impedire alla luce di alterare le immagini, e privi di umidità per evitare muffe e possibili deterioramenti fisici delle gelatine e dei supporti cartacei delle stampe[30].

Conservazione delle riprese digitali. Appena una fotocamera digitale effettua uno scatto, in genere il file rappresentativo dell'immagine viene salvato nella memoria di massa in formato JPG. È possibile settare la fotocamera, affinché la registrazione del file avvenga secondo la metodica RAW, che è per lo più utilizzata nelle macchine fotografiche digitali di alto livello. Il formato RAW è un particolare metodo di memorizzazione dei dati descrittori di un'immagine. Ciò permette di non avere perdite di qualità della registrazione su un qualsiasi supporto, rispetto ai segnali catturati dal sensore, successivamente composti per interpolazione dal processore d'immagine della fotocamera, nelle sue tre componenti fondamentali RGB. La risoluzione massima reale dell'immagine rimane quella determinata dalle caratteristiche del sensore installato nella fotocamera digitale.

Un primo passo per la conservazione delle immagini è

quello di effettuare un download nel formato originario in un folder, con il programma informatico fornito dalla casa produttrice della fotocamera utilizzata oppure con altri programmi dedicati alla classificazione delle immagini digitalizzate, del tipo ACDSee. Nel metafile associato a ciascuna immagine è possibile registrare tutti i dati descritti nel precedente paragrafo, che tratta della conservazione dei negativi. Con una opportuna e corretta schedatura si possono effettuare ricerche nell'archivio, per vasto che possa essere.

Il peso delle immagini può raggiungere, per alcune fotocamere, valori pari o superiori a 500 Mb. Per conservare un archivio corrente attivo, si rendono quindi necessarie memorie di massa, costituite da un jukebox di hard disk particolarmente capienti e dotati di automatismi di salvataggio dei dati, in caso di guasto di uno degli hard disk componenti.

Una sicura conservazione dei file d'immagini, data la non affidabilità al 100% degli hard disk, si ottiene creando, per ciascun servizio fotografico, copie backup di questi file rappresentativi delle immagini in dischi non magnetici, del tipo BDR ad altissima definizione, che utilizza laser del tipo blu ray, da conservare in contenitori a prova di fuoco e di urto.

La fotografia come mezzo ausiliario alle operazioni di rilevamento

Si è già detto che, nel redigere gli eidotipi, è preferibile procurarsi una documentazione sovrabbondante, al fine di evitare, nel momento della restituzione grafica a tavolino, di dover tornare nuovamente sui luoghi del rilievo per acquisire i dati eventualmente mancanti. In questa fase, la ripresa fotografica si dimostra un elemento determinante per arricchire le informazioni offerte dagli eidotipi.

Affinché queste fotografie possano essere utilizzate durante le operazioni di restituzione grafica, bisogna seguire alcuni elementari criteri operativi. Tutti i fotogrammi debbono essere accuratamente numerati e il loro punto di ripresa va riportato sull'eidotipo della planimetria con la stessa numerazione. Inoltre, insieme al punto di ripresa, sull'eidotipo deve essere indicata la posizione dell'asse ottico di ciascun fotogramma e, possibilmente, anche la distanza tra punto di presa e soggetto fotografato.

Dovranno essere eseguiti fotogrammi d'insieme e di dettaglio, in modo da avere una documentazione completa dell'opera (fig. 54). Per le riprese d'insieme è preferibile che l'asse ottico della camera fotografica sia mantenuto orizzontale, al fine di ottenere fotografie in cui gli spigoli verticali mantengano il loro parallelismo. In alcuni casi sarà utile fotografare con asse ottico inclinato, ma bisognerà far sì che l'inclinazione sia piuttosto accentuata (superiore a 15°).

Le riprese effettuate con le modalità sopra indicate potranno, all'occorrenza, essere utilizzate anche per restituzioni fotogrammetriche da singolo fotogramma, qualora risulti mancante qualche misura.

Se le condizioni dei luoghi lo consentono, è consigliabile effettuare anche alcune riprese d'insieme in posizione frontale, disponendo l'asse ottico della camera perpendicolarmente alle facciate dell'edificio da rilevare. Si ottengono, così, delle fotografie che sono dei veri e propri prospetti, dai quali, conoscendo alcune dimensioni, sarà possibile, con una semplice proporzione, ricavare altre misure mancanti (fig. 55).

Le riprese di dettagli servono a documentare particolari architettonici e decorativi di maggiore complessità e ad integrare con ciò le informazioni fornite dagli eidotipi. Al fine di poter utilizzare al meglio questi fotogrammi di dettaglio durante le operazioni a tavolino, è indispensabile che, prima di effettuarli, si disponga accanto al dettaglio un'asta metrica (ad esempio una stadia), con numerazione ben visibile. In sede di restituzione grafica, l'asta metrica fotografata con il particolare architettonico consentirà di controllare le misurazioni effettuate (fig. 56).

Se il particolare viene fotografato di scorcio, è indispensabile sovrapporre due aste metriche: una disposta parallelamente ad uno spigolo verticale ed una parallelamente ad uno spigolo orizzontale. Anche per quanto riguarda le fotografie di dettaglio dovrà essere eseguita un'accurata numerazione, al fine di riconoscere facilmente il particolare cui esse si riferiscono. Le riprese di dettaglio, soprattutto se riferite a particolari architettonici molto complessi (capitelli, cornicioni, bassorilievi ecc.), devono essere effettuate con luce diffusa, onde evitare che ombre troppo accentuate finiscano per coprire alcune parti del soggetto stesso.

Un aspetto particolare, che può essere documentato solo a mezzo di una serie di fotografie, è costituito dal rapporto

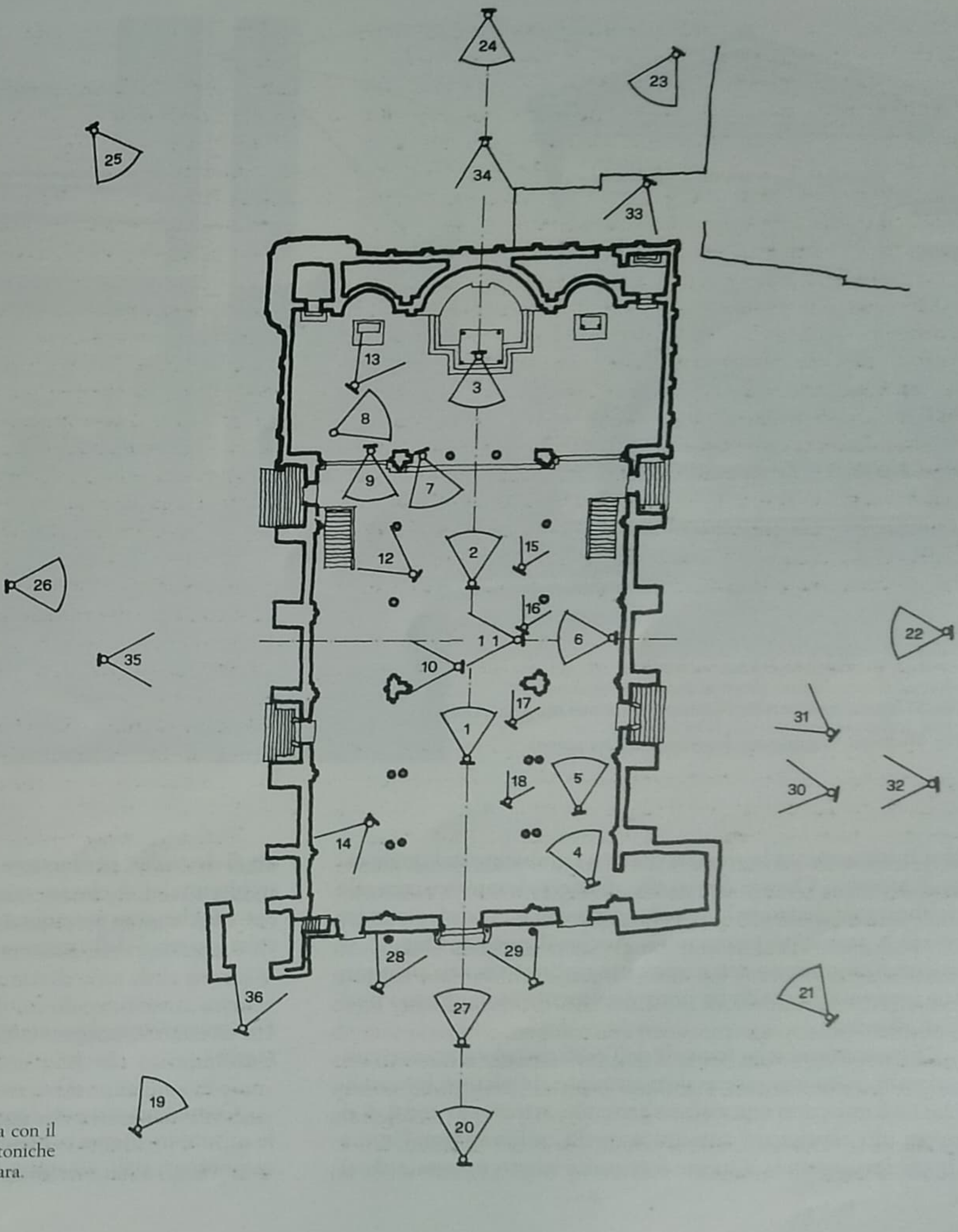


Fig. 54. Bari, basilica di San Nicola. Pianta con il progetto delle riprese fotografiche architettoniche esterne ed interne. Rilevamento G. Carbonara.

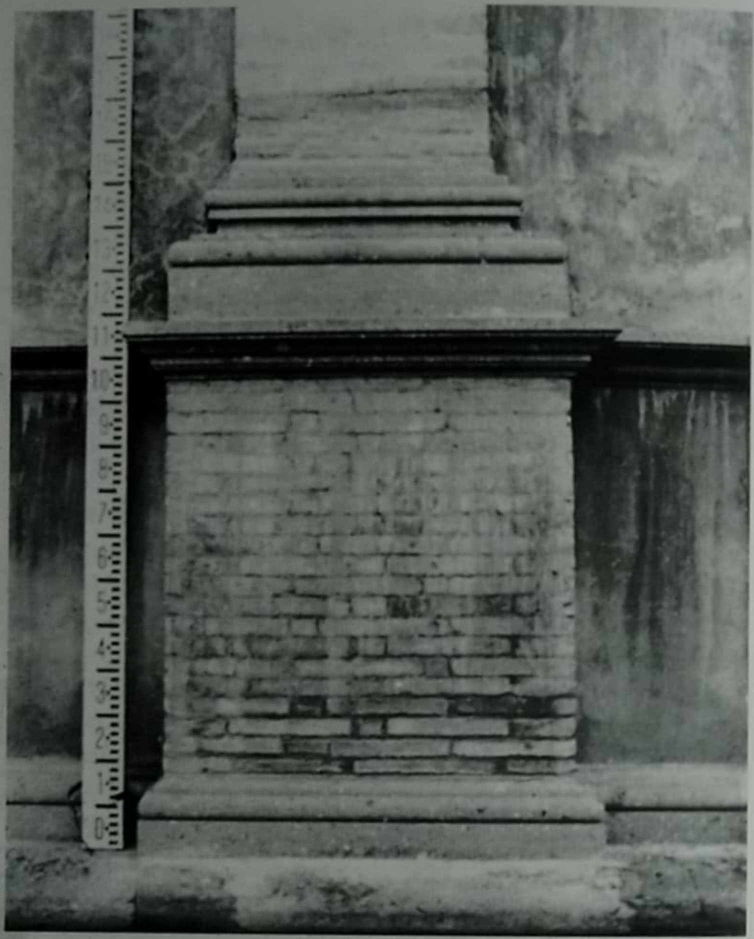


Fig. 55. Roma, tempio della Fortuna Virile. Frontone posteriore.
Fig. 56. Roma, la Farnesina. Basamento di una parasta.

che si instaura tra la singola opera e l'ambiente nel quale essa è inserita. Queste fotografie di inquadramento generale debbono evidenziare le relazioni spaziali e morfologiche tra opera e ambiente circostante. Anche il posizionamento di queste fotografie va accuratamente riportato in una planimetria generale, in modo da poter facilmente individuare i punti di ripresa.

Le caratteristiche formali dell'edificio, globalmente considerate, possono essere documentate da alcune fotografie che ne forniscano una visione generale, attraverso punti di ripresa più ravvicinati rispetto a quelli utilizzati per l'inquadramento generale. Queste fotografie vanno integrate da altre di dettaglio, per mettere in evidenza eventuali particolari architettonici di elevate qualità formali. Ovviamente, anche per ciò che concerne queste fotografie, vale il concetto più volte espresso della numerazione e catalogazione.

Fotogrammetria elementare applicata al rilevamento architettonico

Come è già stato evidenziato, il problema del prelievo delle misure in altezza presenta non poche difficoltà di carattere pratico, quali, ad esempio, l'inaccessibilità delle parti alte

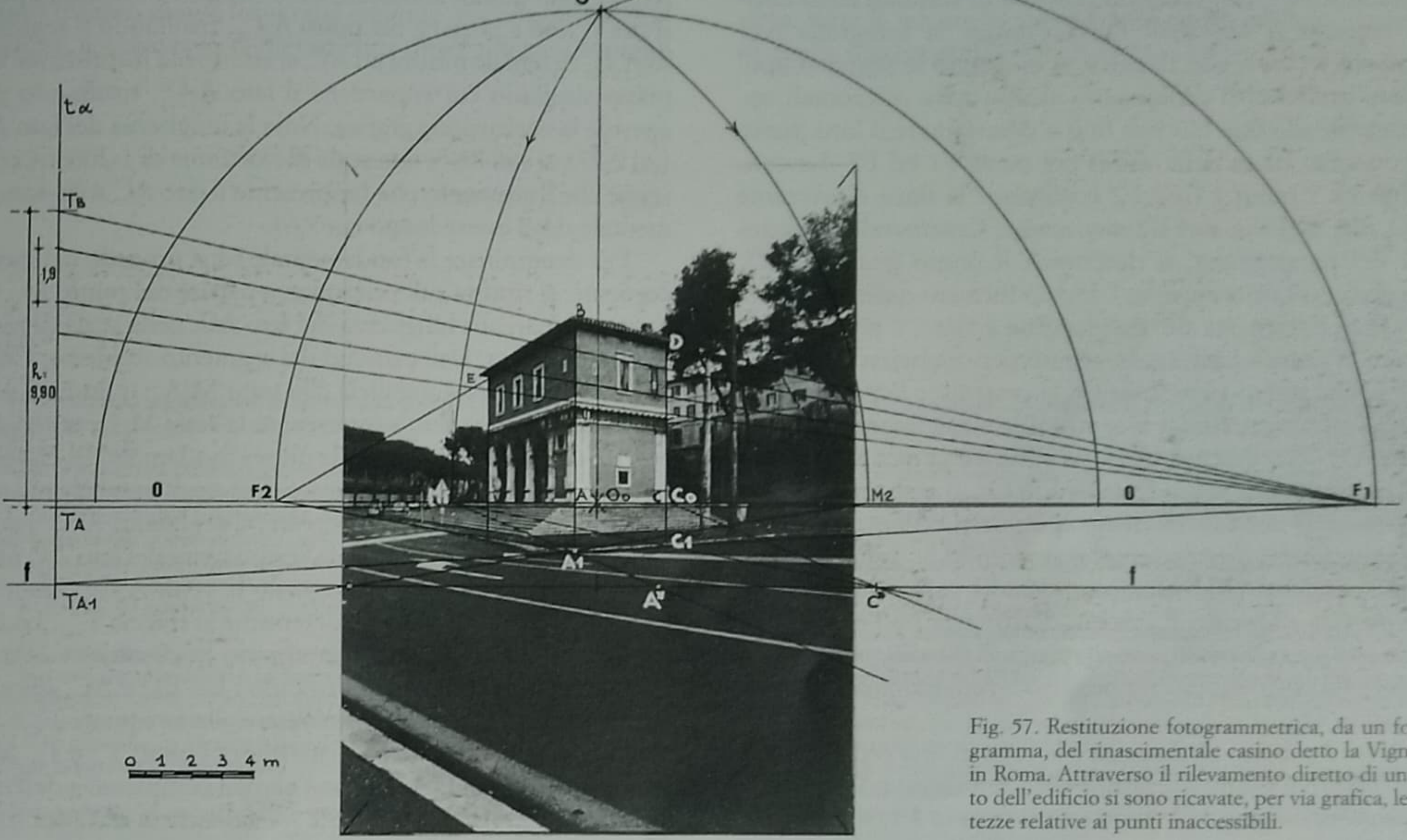


Fig. 57. Restituzione fotogrammetrica, da un fotogramma, del rinascimentale casino detto la Vignola in Roma. Attraverso il rilevamento diretto di un lato dell'edificio si sono ricavate, per via grafica, le altezze relative ai punti inaccessibili.

di un edificio. In questi casi può essere utile l'impiego della fotogrammetria elementare, che può essere attuata da chiunque disponga di una buona macchina fotografica e delle conoscenze teorico-prospettiche necessarie per applicarla. I risultati che ne conseguono, dal punto di vista della precisione, sono compatibili con quelli di un rilievo diretto, mentre non possono competere con quelli conseguiti per mezzo del rilevamento fotogrammetrico. Non potendo esemplificare più ampiamente questo metodo, per evidenti ragioni di compatibilità con il tema proposto, sarà qui presentato un caso fra i più frequenti.

Si è preso in esame l'edificio riprodotto nella fig. 57, che è stato fotografato con una macchina munita di pellicola di formato 4,5 x 6 cm, dopo essersi accertati, con l'ausilio di una livella da muratore, che il piano della pellicola risultasse verticale. Tale verifica è importante, poiché la restituzione prospettica esemplificata tiene conto del perfetto parallelismo degli spigoli verticali dell'edificio. Ricordiamo tuttavia che come è possibile eseguire una prospettiva a quadro inclinato, così è possibile da essa ottenere la restituzione prospettica. In questo caso, però, si deve applicare un procedimento più complesso.

Al fine di ridurre al minimo le deformazioni nella stampa della fotografia, è preferibile utilizzare il sistema della

stampa «a contatto»; nell'esempio in esame, per ragioni tipografiche, si è utilizzato un positivo di formato circa doppio rispetto al negativo. Posta dunque la fotografia così stampata su un foglio di carta, si eseguono le seguenti operazioni grafiche: si prolungano alcune rette orizzontali appartenenti alle due facciate fino a determinare il loro punto di concorso (fuga delle rette) nei punti F1 ed F2. La congiungente i punti F1 ed F2 costituisce la linea d'orizzonte O-O, che taglia in due il fotogramma. Costruendo le diagonali del fotogramma, si determina il punto principale O_o che giace sull'orizzonte. Se l'angolo formato dalle rette orizzontali appartenenti alle due facciate è retto, è possibile costruire la semicirconferenza avente per diametro i punti F1 ed F2. Dal punto principale O_o si costruisce la perpendicolare all'orizzonte, fino a incontrare la semicirconferenza nel punto O*. Il segmento O_oO^* costituisce la misura della distanza principale; facendo centro in O_o, con raggio O_oO^* si costruisce il cerchio di distanza. Quest'ultimo può essere costruito anche direttamente, conoscendo la distanza focale della macchina. Nell'esempio, avendo usato un obiettivo con 40 mm di focale, il cerchio di distanza può essere tracciato con un compasso, con apertura di 80 mm (tenuto conto del rapporto doppio fra positivo e fotogramma), facendo centro in O_o.

Noti il cerchio di distanza e la fuga di una retta, è possibile trovare il punto di misura della retta stessa. Per trovare il punto di misura delle rette aventi fuga in F1, si ribalta da quest'ultimo punto il punto O* sull'orizzonte, ottenendo M1, punto di misura cercato.

Non conoscendo la posizione del piano di quadro rispetto all'edificio, è utile determinarne la posizione in modo tale da ottenere un risultato grafico in una scala di facile rappresentazione. È noto infatti che, posizionato il punto di vista e l'oggetto, spostando parallelamente il piano di quadro, si ottengono immagini prospettiche identiche, anche se di dimensioni più grandi o più piccole. Per evitare il calcolo della riduzione grafica, con conseguenti imprecisioni, conviene posizionare il piano di quadro in modo tale da avere una scala grafica predeterminata, ad esempio 1:100, 1:200 ecc.

Nella figura in esame, volendo restituire il lato AC e risultando quest'ultimo praticamente coincidente con l'orizzonte, conviene utilizzare un piano ausiliario posto in posizione più bassa rispetto alla gradinata sul quale poggia il lato AC. Si sono quindi abbassati, sulle rispettive verticali, i punti A e C fino a portarsi nei punti A_1C_1; risultando il segmento A_1C_1 di uguale misura ad AC, si effettua la restituzione del piano ausiliario cui appartiene il lato A_1C_1, risultando più agevole la costruzione grafica. Nota la lunghezza del lato AC (ml 7,27), si stabilisce una scala di riduzione di 1:200; ne consegue che il segmento che rappresenta il lato AC sulla fondamentale deve essere lungo cm 3,63.

Per determinare la fondamentale f-f si procede nel modo seguente: si riporta sull'orizzonte, a partire dal punto M_1, un segmento pari alla lunghezza del lato AC, nella scala di restituzione stabilita. Dall'estremo del segmento suddetto, Co, si costruisce una retta parallela alla retta M_1A_1; quindi, si prolunga questa retta fino a intersecare la retta M_1C_1 nel punto C*. Il punto C* appartiene alla nuova fondamentale, che può essere costruita imponendo la condizione di parallelismo con l'orizzonte. Come si può osservare, il segmento A*C*, sulla fondamentale f-f, costituisce la restituzione del lato AC nella scala grafica imposta. Prolungando la retta A_1C_1 fino a incontrare la fondamentale, si determina la traccia T_{A1}. La retta verticale passante per questo punto $t\alpha$ costituisce la traccia del piano verticale. Prolungando i lati BD e AC, allineati con la loro fuga F1, si determinano sulla $t\alpha$ i punti T_A e T_B, tracce dei lati in esame. La distanza tra i punti T_A e T_B, letta in scala (ml 9,90), rappresenta l'altezza complessiva dell'edificio, mentre la distanza T_A e T_{A1} evidenzia la distanza fra la base dell'edificio e il piano ausiliario scelto quale supporto della base.

Sulla traccia $t\alpha$ del piano verticale possono essere restituite tutte le misure parziali relative all'altezza, quali la posizione della cornice marcapiano, l'altezza delle finestre ecc.; ad esempio, l'altezza delle finestre del secondo piano è risultata di ml 1,90. Anche altre misure in altezza, appartenenti ad esempio all'altra facciata, possono essere restituite, purché in precedenza riportate sullo spigolo BA e poi proiettate da F_1 sulla $t\alpha$. Nell'esempio in esame si è verificata l'attendibilità della restituzione controllando l'altezza dell'imposta degli archi del portico, che nella restituzione sono pari a ml 3,65, mentre il rilievo diretto ha fornito un risultato pari a ml 3,64.

I risultati ottenuti confermano il buon grado di precisione della restituzione a un solo fotogramma, se eseguita con

cura. Da quanto sopra esposto, risulta evidente che, attraverso l'utilizzo di una fotografia eseguita con opportune precauzioni e attraverso il rilevamento diretto di un elemento orizzontale di un edificio, è possibile ricavare, per via indiretta, tutte le misure in altezza dello stesso edificio, comprese quelle inaccessibili.

Note

[1] Per maggiori informazioni in riferimento ai problemi principali dell'utilizzo della fotografia, vedi bibl., § *Sulla fotografia nel rilevamento architettonico – Opere generali*.

[2] In un'inserzione pubblicitaria una ditta propagandava la sua fotocamera asserendo: «Dovete solo puntare, mettere a fuoco e sparare. Il cervello elettronico e l'otturatore faranno il resto»; essa induceva così l'erronea convinzione che queste siano le sole operazioni necessarie per ottenere *sempre* una buona fotografia. Questo non corrisponde alla realtà dei fatti, qualora le condizioni di ripresa si discostino dai parametri assunti per la progettazione della fotocamera.

[3] R. Bartes, *La camera chiara*, Torino 1980; S. Sontag, *Sulla fotografia*, Torino 1991.

[4] R.L. Gregory, *Occhio e cervello*, Milano 1992.

[5] Nel redigere gli eidotipi è preferibile procurarsi una documentazione sovrabbondante, al fine di evitare, nel momento della restituzione grafica a tavolino, di dover tornare nuovamente sui luoghi del rilievo, per acquisire dati mancanti. In questa fase, la ripresa fotografica si dimostra un elemento determinante per arricchire le informazioni offerte dagli eidotipi.

[6] Un'importante differenza tra il sistema geometrico e il sistema fotografico è data dal fatto che, mentre nella geometria il centro di proiezione è un punto non dotato di dimensioni, nella fotografia il centro di proiezione, ossia il centro focale del sistema ottico, è rappresentato da un volume virtuale, pur piccolo, disegnato dai raggi della luce: nella fotografia si pone un problema di tolleranza delle misure che non sussiste nella geometria. Altra differenza: in un'applicazione di geometria, lo spigolo di una costruzione viene rappresentato con una retta, luogo di intersezione tra due piani; essa è immateriale e senza spessore ed è individuabile da due coppie di coordinate: si tratta di un'entità numerica codificabile in modo da rendere univoco il rapporto tra un segno e il suo significato. Nella fotografia lo stesso spigolo viene individuato non come una linea, bensì come confine tra due superfici a differente luminosità; una fotografia, infatti, non registrerebbe l'esistenza dello spigolo, se le due superfici piane che lo determinano avessero la stessa luminosità.

[7] H. e A. Gernsheim, *Storia della fotografia*, Milano 1966; P. Pollak, *Storia della fotografia dalle origini ad oggi*, Milano 1959.

[8] Oltre alle considerazioni svolte in altra parte del presente volume, cfr. M. Docci, *Principi di fotogrammetria e restituzione prospettica da architetture*, Roma 1964; M. Fondelli, *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*, Roma-Bari 1992.

[9] Due esempi di questo tipo di software sono Orthomap e Archis, prodotti dalla Galileo Siscam.

[10] La luminosità massima di un obiettivo è definita come il rapporto tra la lunghezza focale e il diametro della lente dell'obiettivo: un obiettivo avente una focale di 100 mm e una lente di diametro 25 mm avrà luminosità o diaframma f/4; per avere una luminosità doppia, cioè f/2, a parità di lunghezza focale di 100 mm, è necessaria una lente del diametro di 50 mm. Maggiore, però, è il diametro del sistema ottico, più difficoltosa nella sua costruzione è l'eliminazione di distorsioni dovute alla natura dei cristalli ed al sistema costruttivo.

[11] Indicativo della qualità di un obiettivo, senza compiere comunque generalizzazioni, in quanto spesso ditte minori possono produrre materiali realmente competitivi, è il suo costo.

[12] Delle focali citate, i grandangoli coprono un angolo di ripresa di circa 85°, misurato sulla diagonale del fotogramma; gli obiettivi normali, un angolo di circa 45°, i teleobiettivi, di circa 18°.

[13] Il sistema di regolazione dei tempi di esposizione è di due tipi: a scorrimento di una tendina sul piano focale, il primo; di tipo centrale, con apertura e chiusura di un sistema di lamelle, il secondo. Gli otturatori a tendina sono utilizzati in fotocamere di piccolo formato e sono parte integrante del corpo macchina; quelli centrali, più equilibrati ed efficienti per una fotografia d'architettura, sono inclusi all'interno dell'obiettivo.

[14] I filtri di conversione modificano il colore della luce, i filtri compensatori creano sottili variazioni di colore dell'immagine.

[15] Altro accessorio strettamente legato al treppiede è la testa, che consente di variare la posizione della fotocamera.

[16] Un parco lampade utile per riprese d'architettura può essere costituito sia da lampade tipo Nitraphot o al tungsteno, oppure da lampeggiatori elettronici; questi ultimi, però, sono difficili da controllare in termini di risultato finale, in quanto la durata del flash è talmente breve da non consentire una valutazione dei suoi effetti sulla scena ripresa.

[17] La sensibilità di una pellicola misura la rapidità con cui una specifica quantità di luce produce una densità utile di sali d'argento. Essa viene misurata in scala aritmetica ASA (American Standard Association) oppure in scala logaritmica DIN (Deutsche Industrie Norm). Attualmente è adottata la scala ISO (International Organization for Standardization). Le scale sono suddivise in settori equivalenti a un terzo di stop, in modo tale che ogni terzo numero rappresenti un raddoppio della luminosità del diaframma o il dimezzamento del tempo di otturazione.

ASA	50	64	80	100	125
DIN	18	19	20	21	22
ISO	50/18	64/19	80/20	100/21	125/22
Ad esempio:					
diaframma	11			8	
tempo	1/30			1/60	

[18] Per effettuare una corretta registrazione dei colori di un oggetto, è necessario misurare (in gradi Kelvin) con un termocolorimetro, la qualità della luce incidente sull'oggetto della ripresa; questa misurazione consente di correg-

gere le eventuali dominanti mediante l'uso, durante la ripresa, di opportuni filtri. A maggiore garanzia è opportuno, ove sia possibile, collocare una campionatura di colori standard nel campo della ripresa fotografica. La «temperatura colore», misurata in gradi Kelvin, di una determinata luce, corrisponde alla temperatura raggiunta da un corpo nero non riflettente che, quando riscaldato, emette quella stessa luce.

[19] A confezione integra, è preferibile che il materiale sensibile sia conservato in frigoriferi a temperatura inferiore ai 10° C, tenendo presente che è indispensabile, prima della loro utilizzazione, una permanenza di sei ore alla temperatura ambiente di utilizzo.

[20] Per lunghi viaggi, caratterizzati da spostamenti climatici, che possono avvenire prima che i materiali sensibili vengano sviluppati e stabilizzati, è opportuna la loro conservazione in contenitori isolati termicamente.

[21] Il pensiero di Stieglitz è citato in A. Adams, *Il negativo*, Bologna 1987.

[22] Affinché tutti i punti esistenti sul negativo siano messi a fuoco, deve essere rispettata la condizione che i tre piani della carta, del negativo e del supporto dell'obiettivo si incontrino in una retta; ove ciò non sia possibile, i limiti dell'operazione sono dati dalla massima profondità di campo ottenibile utilizzando il diaframma più piccolo.

[23] Ampie considerazioni e chiarimenti sul «sistema zonale» sono in Adams, *Il negativo* cit.

[24] A titolo orientativo è utile riportare la tabella nella quale Adams ha indicato le caratteristiche, in valori di trama, nelle diverse zone:

Valori bassi	
Zona 0	Stampa completamente nera; nessuna densità utile sul negativo.
Zona I	Limite effettivo. Primo passo al di sopra del nero pieno sulla stampa, con leggere tonalità, ma nessuna trama.
Zona II	Prime lievi tracce di trama. Tonalità profonde, corrispondenti alle parti più scure dell'immagine, nelle quali si desidera distinguere qualche lieve dettaglio.
Zona III	Materiali mediamente scuri e valori bassi mostrano sufficienti dettagli.
Valori medi	
Zona IV	Pietre scure, paesaggi in ombra, fogliame mediamente scuro. Grigio medio.
Zona V	Cieli nordici chiari, pietre grige, legni mediamente stagionati.
Zona VI	Pietre chiare, ombre sulla neve nei paesaggi illuminati dal sole, cieli nordici chiari, luce del cielo diffusa o luce artificiale.
Valori alti	
Zona VII	Oggetti grigio chiari, neve liscia con illuminazione fortemente laterale.
Zona VIII	Bianchi con trama e sfumature delicate, neve con tracce superficiali.
Zona IX	Bianco senza trama superficiale, che si avvicina al bianco assoluto, con presenza di lievi tonalità, senza una vera e propria trama.
Zona X	Bianco puro del supporto della carta da stampa.

La prima zona, a partire dal bianco, in cui cominciano a essere leggermente percepibili i valori della trama, è la IX; trama che, all'opposto, comincia a emergere dall'ombra nella «zona II». Valori leggibili della trama sono, rispettivamente, per le zone chiare e quelle in ombra, la «zona VIII» e la «zona III».

[25] Se i contrasti di luminosità dovessero essere eccessivi e non fosse possibile ridurli mediante l'uso di filtri, oppure facendo uso di luci supplementari per schiarire le parti in ombra; se, come verrà messo in evidenza nel paragrafo successivo, non si può avere un controllo delle operazioni di sviluppo e stampa, in modo da ridurre i contrasti e rendere visibile tutto quanto registrato nel negativo, sarebbe necessario attendere una luce naturale più diffusa, un cielo più velato.

[26] Parti dello scritto che tratta della stampa, sia chimica che informatica, sono state tratte dal volume di G. Stockel, *Guardare vedere fotografare*, Roma 2007.

[27] Una scheda deve contenere sia annotazioni fatte in sede di ripresa che altre, necessarie a individuare esattamente operazioni che sono state compiute successivamente. Una completa elencazione dei dati che individuano un fotogramma, non sempre tutti necessari, sono: la collocazione del fotogramma negativo; il titolo del fotogramma; la data della ripresa dell'originale; la data della sua eventuale duplicazione; l'autore della ripresa; la marca e il tipo di fotocamera; se si tratti di monocamera o bicamera; se si tratti o no di ripresa metrica; la marca e il tipo di obiettivo; i dati forniti dall'esposimetro; quelli utilizzati per la ripresa; uso di luce naturale o artificiale; quale tipo di luce naturale o quale artificiale; marca, tipo, formato del negativo; se colore o bianco e nero; il tipo e i dati sullo sviluppo; stessi ultimi tre dati, in caso di diapositiva; stessi ultimi tre dati, in caso di stampa su carta, oltre ad annotazioni sulle elaborazioni compiute su di esse; collocazione della stampa su carta.

[28] Se, al fine di evitare ambiguità e fraintendimenti durante la sua compilazione, particolare importanza riveste la progettazione della scheda di immissione dei dati, maggiore cura dovrà essere rivolta alla stesura delle interrogazioni che si potranno rivolgere all'archivio, affinché non possano avvenire occultamenti dei dati in esso contenuti, causa eccessive rigidezze delle procedure d'interrogazione.

[29] Per una più vasta trattazione dell'argomento, cfr. P. Castano, *L'archivio fotografico*, Milano 1983.

[30] Alcuni prodotti chimici, naturali o sintetici, presenti nei materiali, possono essere particolarmente dannosi per negativi, diapositive e stampe: la scelta del tipo di contenitori è opportuno si avvalga dell'esperienza in materia, accumulata da professionisti della fotografia.

Capitolo undicesimo

Normative grafiche e simbologia

L'avvento della strumentazione informatica ha radicalmente modificato non solo il rilevamento, ma anche il modo stesso di passare dalla fase di individuazione delle misure da considerare, sull'edificio, ai grafici finali. Sono ormai in commercio programmi informatici che permettono di elaborare, per così dire, un grafico digitale in tempo reale, cioè contemporaneamente al prelevamento delle misure per via indiretta, dando vita ad immagini virtuali, che possono essere rielaborate ed approfondite in qualsiasi momento. Inoltre, la possibilità di costituire degli archivi di simboli di qualsiasi tipo, che possono essere utilizzati rapidamente quando occorra, ha, sotto certi aspetti, facilitato l'opera di rilevamento e di graficizzazione dei dati raccolti.

Tuttavia, chiunque si occupi di rilevamento architettonico apprende subito che ogni edificio fa testo a sé, richiede adattamenti dei metodi stessi di rilevamento, adeguamenti della simbologia o creazione di simboli nuovi e persino aggiustamenti della prassi di studio generale con cui si affronta l'analisi dell'edificio. Ecco perché si ritiene utile dare qualche informazione di base e presentare una serie di esempi in merito alle norme grafiche e alla simbologia, indipendentemente dalla procedura informatica, che viene trattata in altra parte del volume.

Quello delle convenzioni e della simbologia da adottare nei grafici di rilevamento è uno dei problemi più difficili e ancor oggi irrisolti: in effetti, istituzioni pubbliche, studi professionali ed enti vari utilizzano diverse serie di segni e di simboli per le diverse categorie di fenomeni architettonici.

Infatti, non sono ancora stati definiti univocamente il carattere descrittivo o astratto dei simboli da impiegare alle varie scale di rappresentazione, la flessibilità o adattabilità di una figura convenzionale (estensione applicativa a più scale di riduzione), la possibilità d'impiego di una stessa icona su grafici redatti a mano e tramite computer, le simbologie speciali ecc.

Sarebbe auspicabile, ad esempio, un tentativo di normazione dei vari tipi di segni, sia nell'ambito di ciascun genere di rilevamento, sia tra le diverse categorie (architettonico, archeologico, per il restauro ecc.), almeno per quanto riguarda i fatti fondamentali da graficizzare (segni per la rappresentazione della realtà, delle parti in vista virtuale non direttamente visibili, delle proiezioni di elementi ecc.).

Nel rilevamento di edifici antichi spesso si devono utilizzare insieme il disegno strumentale e quello a mano libera, in quanto ciò è implicitamente richiesto dalla esigenza di rappresentare sia l'apparato murario e il tipo di materiale impiegato, sia lo stato di conservazione dei materiali stessi. Conci lapidei squadrati, opere isodome o pseudoisodome, pietre in parte squadrate, sbozzate, massi informi, intonaco ecc. debbono essere trasformati in immagini, grazie ad una graficizzazione ove la rigorosità delle forme sia resa dall'elaborazione geometrica, mentre le forme naturali sono meglio espresse con segno a mano libera. Per quanto riguarda quelle architetture che presentano irregolarità, guasti nei materiali e murature non costruite con buona geometria, il disegno a mano libera si impone, perché meglio esprime il carattere delle stesse strutture edilizie, che deve emergere fin dalla prima fase, detta di «campagna», del rilevamento, attraverso la redazione di eidotipi. Se effettuati con la dovuta attenzione e la cura necessaria, tali disegni costituiscono la base di tutte le successive elaborazioni, rigorosamente oggettive, in scala, ordinate per categorie specifiche (piante, sezioni, dettagli architettonici), indispensabili per

una conoscenza vera del manufatto: una specie di archivio dati, insomma, a cui attingere, qualora sia necessario approntare qualche elaborato relativo ad aspetti specifici della costruzione (dissesti, murature, materiali, decorazioni architettoniche, varie fasi costruttive). In definitiva, l'insieme degli eidotipi o schizzi dovrebbe costituire un rilevamento critico dello stato di fatto dell'organismo architettonico, ottenuto mediante una serie grafica completa che, partendo dalla rappresentazione dei principali volumi, dovrebbe arrivare al dettaglio più minuto, tenendo presenti, però, le scale di riduzione da usarsi negli eleborati finali.

Questa prima fase, che comprende il metodo di rilevamento scelto, l'individuazione degli elementi da misurare, l'analisi delle strutture fisiche e la trasposizione, in grafici definitivi, di quanto si è osservato e studiato, è la più importante dell'intero processo di rilevamento.

Rappresentazione del rilevamento planimetrico

Prima di procedere alla rappresentazione grafica di una pianta, occorre stabilire la scala (o rapporto di riduzione) secondo cui riportare le misure. Tale scelta è, di solito, legata agli scopi per i quali si eseguono le operazioni di rilevamento: per quelle finalizzate ad interventi di conservazione, restauro, trasformazione ecc., si utilizzano scale di riduzione piuttosto grandi, mentre per rilevamenti di documentazione, si adoperano scale più piccole. Va precisato, però, che ogni scelta è anche subordinata alle dimensioni dell'edificio da rappresentare: vi sono, cioè, costruzioni di dimensioni talmente ridotte, che una scala molto grande diventa necessaria ed indispensabile per ottenere un grafico leggibile.

Per le planimetrie d'insieme si adoperano, normalmente, le scale 1:1000, 1:500, 1:200, a seconda delle dimensioni dell'edificio da raffigurare; per la rappresentazione delle piante, invece, si scelgono le scale 1:100, 1:50 e anche 1:20, sempre in riferimento alle dimensioni dell'organismo edilizio. Si deve tener presente, tuttavia, che il rapporto di riduzione va scelto anche in relazione al carattere dell'edificio stesso e agli aspetti che di esso si vogliono porre in evidenza e che la scelta della scala comporta, automaticamente, quella di determinate convenzioni grafiche.

Ai fini di una maggiore chiarezza, è bene usare scale uguali per grafici simili: piante, prospetti e sezioni generali di un edificio, ad esempio, risultano di più facile lettura, se redatti nella medesima scala. È raccomandabile, inoltre, nelle riduzioni di qualsiasi tipo, l'uso di scale facili e comode per eventuali riscontri o verifiche.

Per tradurre graficamente il rilievo di una pianta, si procede seguendo lo stesso ordine tenuto durante il prelievo delle misure: si inizia il disegno, riportando sul foglio le fondamentali di appoggio, utilizzate per effettuare il rilevamento del perimetro esterno dell'edificio in oggetto, che hanno sovente, come si è visto, le caratteristiche delle poligonali chiuse. In questi casi conviene, pertanto, applicare i concetti operativi desumibili da esse. Terminata la rappresentazione grafica delle rette che costituiscono le fondamentali (poligonali), le quali fanno da supporto al perimetro esterno della pianta, si disegnano i punti appartenenti al perimetro stesso. Se questi sono stati collegati alla fondamentale a mezzo di trilaterazioni, si procede, allora, come nella fig. 1. Dovendosi, ad esempio, determinare la posizione del punto 1, per ricostruire il triangolo che lo sottende, si constata innanzitutto, sullo schizzo, a quale tratto di fondamentale esso sia appoggiato (tratto A-B). Posizionati, quindi, sulla fondamentale, i punti A e B, distanti tra loro m 3,90, a partire dal punto A si traccia, con un compasso, un arco di cerchio con raggio pari a m 2,65 (distanza tra A e 1) e, a partire dal punto B, un arco di cerchio pari a m 3,85 (distanza tra B e 1); i due archi di cerchio si incontrano, dunque, in un punto, che costituisce la rappresentazione grafica del punto 1. Ripetendo questa operazione il numero di volte necessario, si individua la posizione di tutti i punti significativi

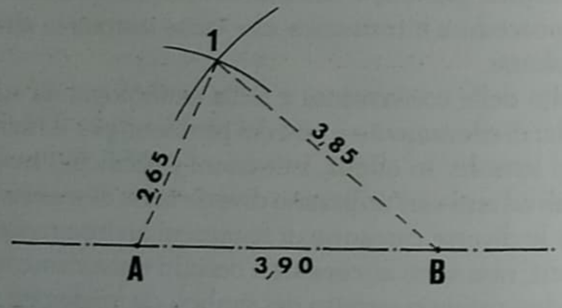


Fig. 1. Determinazione di un punto da una linea base.

del perimetro esterno dell'edificio. Si disegna, quindi, l'interno della pianta, posizionando innanzitutto eventuali fondamentali, che si allaccino a quella esterna e penetrino all'interno dell'edificio; si fissano, successivamente, tutti i contorni interni dei muri e si completa, poi, il disegno con tutti i particolari di maggiore interesse (fig. 2).

Completata infine la pianta del piano terra, si disegnano via via le piante del primo piano o del seminterrato, ove esista, e poi quelle dei piani superiori. Nel passare dal disegno di un piano a quello del seguente, occorre anche accertare che gli elementi verticali, comuni ai vari piani, coincidano: in particolare, il perimetro esterno dell'edificio, il vano (o i vani) della scala e dell'ascensore, gli assi delle finestre ecc. e, nel caso di organismi a struttura portante in muratura, anche i muri portanti, appunto, salvo eventuali riseghe o anomalie. Quando nei diversi rilievi qualche elemento risulti discordante, si può ricorrere al controllo delle misure di cui si è in possesso, utilizzando gli appunti a disposizione. Tuttavia, se l'errore è consistente e coinvolge parti importanti dell'edificio, è bene eliminarlo, effettuando i dovuti controlli direttamente sull'edificio.

In vari tipi di grafici, inoltre, è necessario riportare molte delle misurazioni effettuate: in tal caso, vanno ben differenziate graficamente le linee pertinenti alle strutture architettoniche da quelle relative alle operazioni metriche (fig. 3).

Rappresentazione del rilevamento delle sezioni

Per ciò che concerne la rappresentazione delle sezioni, si può dire che valgano gli stessi concetti esposti per le piante, soprattutto in merito alle scale di riduzione.

Prima di iniziare l'operazione di costruzione di una sezione, occorre accertarsi che il segno del piano sezione sia stato riportato nella giusta posizione su tutte le piante. La costruzione grafica si inizia disegnando la fondamentale orizzontale di riferimento; su questa si scrivono, quindi, le larghezze di vari elementi, misurate in corrispondenza del pia-

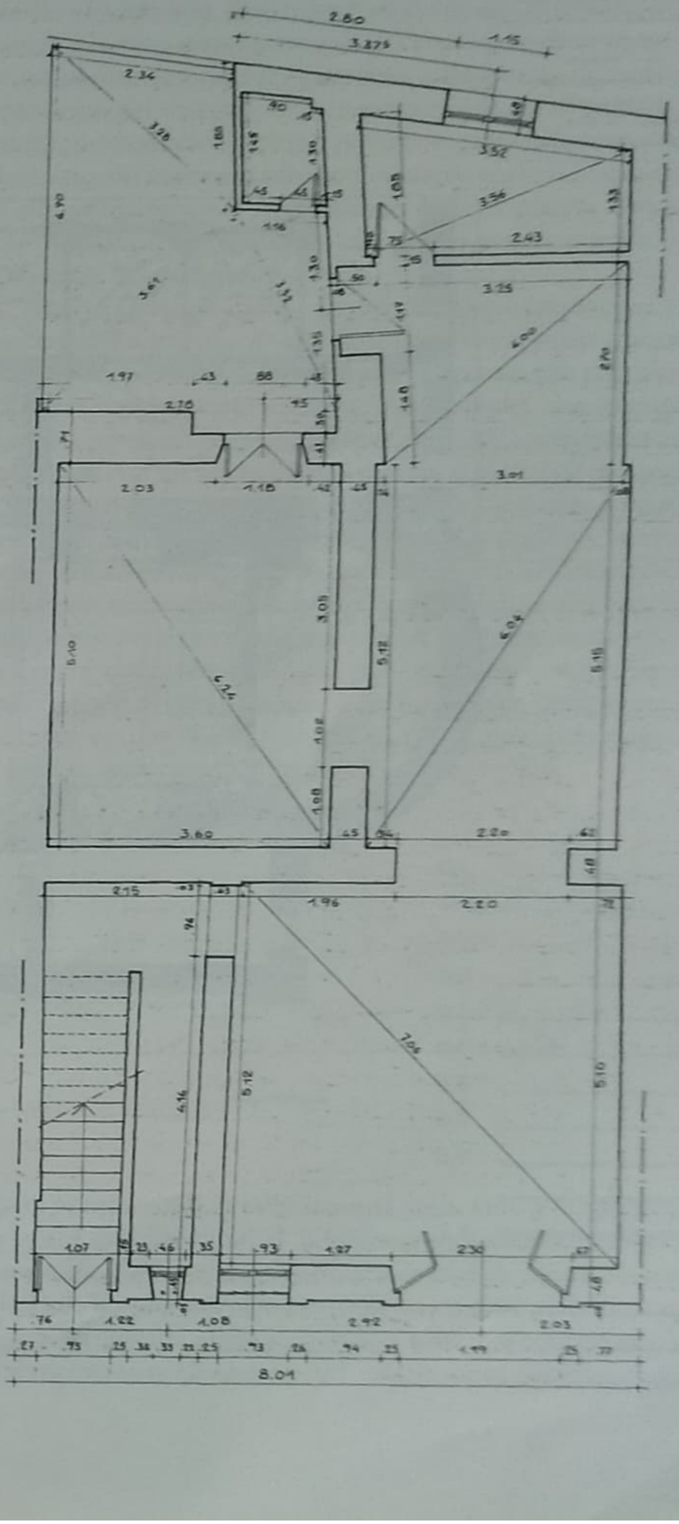


Fig. 2. Esempio di pianta quotata. Edificio in via del Cedro a Trastevere in Roma. Rilevamento A. D'Aprile.

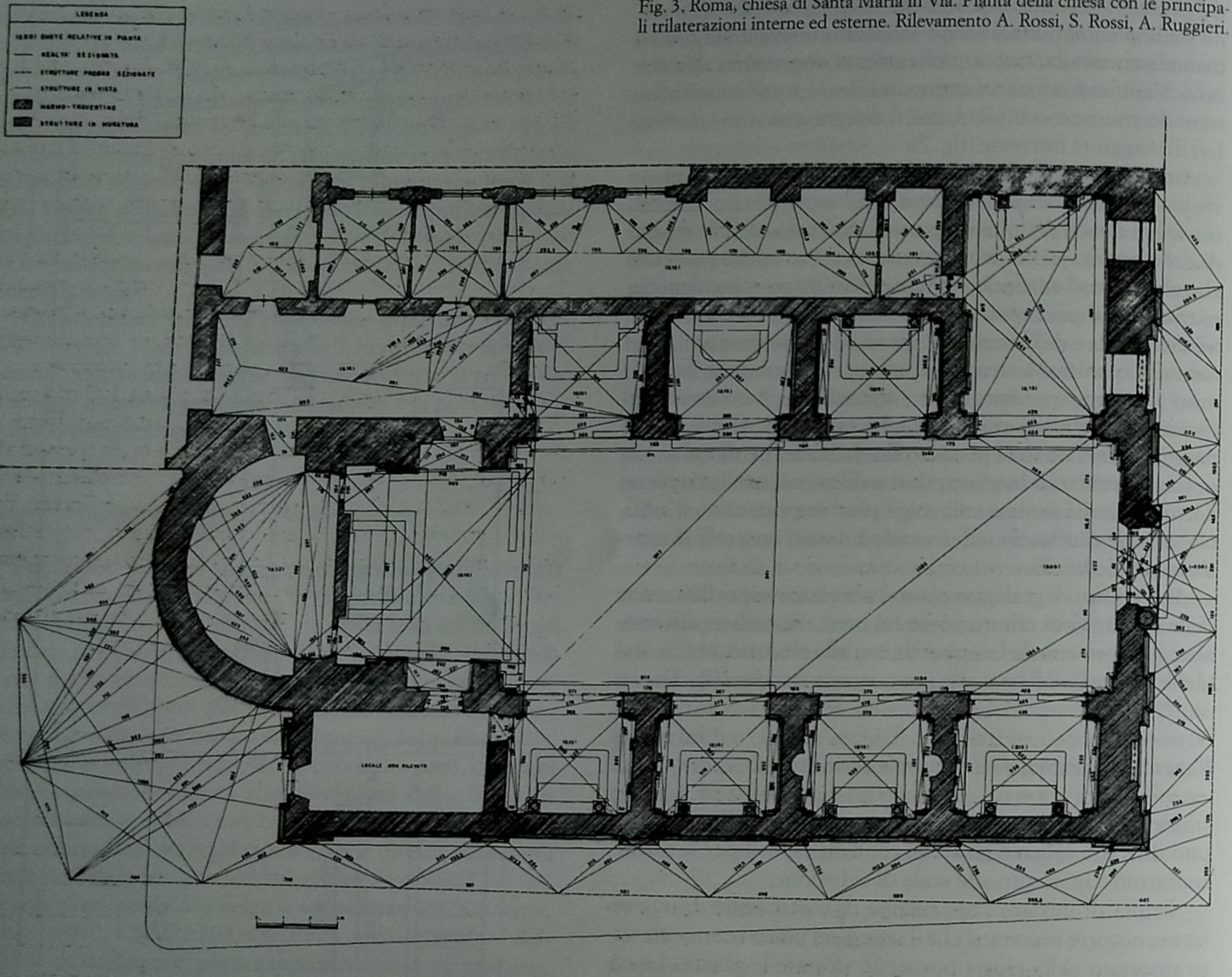


Fig. 3. Roma, chiesa di Santa Maria in Via. Pianta della chiesa con le principali trilaterazioni interne ed esterne. Rilevamento A. Rossi, S. Rossi, A. Ruggieri.

no secante: si avrà, così, la possibilità di determinare lo spessore dei muri, la loro posizione, la larghezza dei vani e dell'intero corpo di fabbrica e di ricavare tutti gli allineamenti verticali del piano terra. Si riportano, quindi, sul disegno, la fondamentale verticale e le misure delle altezze, riferite alla fondamentale orizzontale. Integrando le misure prelevate dalle piante dei vari piani con quelle in altezza, desunte dall'eidotipo, si completa la raffigurazione della sezione. Occorre tener presente, però, che dovranno essere rappresentate non solo le parti tagliate dal piano sezione, ma anche quelle in vista, presenti nella proiezione, oppure, qualora lo si ritenga utile, quelle virtualmente visibili. Le misure in altezza,

riferite alla fondamentale o ad altro caposaldo ritenuto idoneo e scelto sul disegno, vanno riportate con il sistema di quotatura per «parziali» o per «progressive» e integrate dalla misura complessiva dell'edificio.

Rappresentazione del rilevamento dei prospetti

Essendo le scale di rappresentazione adottate per il disegno dei prospetti, per lo più, quelle utilizzate per le piante e le sezioni, valgono, anche in questo caso, le osservazioni generali già fatte. Tuttavia, poiché tali tipi di raffigurazione presentano spesso particolari molto minuti, non è infrequente, per essi, l'uso di scale più grandi.

Si comincia la costruzione grafica di un prospetto tracciando la fondamentale orizzontale, sulla quale si indicano le distanze che fissano la posizione dei vari elementi (porte, finestre, contorni di facciata ecc.); successivamente si riportano, a partire dalla fondamentale, le misure verticali, necessarie per completare l'impianto del disegno. Definita la posizione degli elementi principali della facciata, il disegno stesso deve essere completato con la raffigurazione delle cornici marcapiano, dei contorni delle finestre e di tutti gli altri elementi eventualmente presenti. Le misure in altezza e in larghezza vanno indicate con il sistema consueto delle misure progressive o parziali. Le quote in altezza, in particolare, debbono essere riferite ad un unico caposaldo: necessariamente il medesimo nei prospetti e nelle sezioni, per evitare di trovarsi di fronte a quote altimetriche differenti, in riferimento allo stesso soggetto. Qualora, però, siano stati utilizzati capisaldi diversi, occorre provvedere alla loro unificazione.

Segni e grafia. La stesura finale di un rilevamento architettonico è legata, come si può facilmente constatare, a un uso appropriato di norme, di segni, di simboli e all'adozione di una grafia chiara e precisa. Molte sono, in verità, le norme non scritte, ma consacrate dalla tradizione, che consentono di realizzare un grafico leggibile e che, senza togliere o limitare la creatività espressiva individuale, determinano un ben preciso ambito di operatività.

Occorre dire, innanzitutto, che la grafia generale di un disegno non deve essere troppo ricca, né deve eccedere in uno sterile virtuosismo che, invece di facilitare le lettura, appesantisca la rappresentazione. È necessario, inoltre, mantenere un giusto rapporto tra presenza e leggibilità di dettagli e grandezza del disegno: un'eccessiva ricchezza di particolari, infatti, renderebbe l'insieme poco comprensibile, mentre, al contrario, un'eccessiva schematizzazione toglierebbe carattere alla raffigurazione. Analogamente, deve esistere una precisa relazione tra lo spessore dei segni da usare nei grafici e la grandezza del disegno.

Non si possono, però, dare indicazioni precise sui vari spessori dei segni (fig. 4) alle varie scale di rappresentazione: in generale, più la scala di riduzione è grande, più si possono utilizzare segni di forte spessore. Ad esempio, una muratura di media grossezza, sezionata, in scala 1:200, può essere rappresentata con un segno 0,3-0,4 mm; in scala 1:100 con segno 0,5-0,6 mm; e in scala 1:50 con spessori 0,7-0,8 mm. Tuttavia, molti altri fattori intervengono nella scelta degli spessori dei segni, come eventuali partiture decorative o architettoniche complesse, necessità di effettuare riduzioni di grafici ecc. Valgono, comunque, le norme grafiche di carattere architettonico. I segni interi sottili (0,1-0,2 mm) possono essere utilizzati per le linee di carattere ausiliario (quotatura delle immagini, frecce ecc.) o in casi particolari, per rappresentare dettagli minuti, partiture decorative e pavimentazioni.

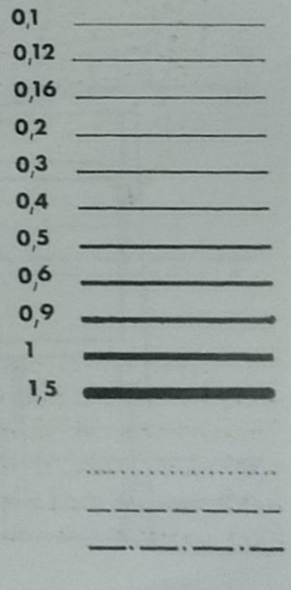


Fig. 4. Esemplificazione di segni normalmente utilizzati nei grafici di architettura. Segni sottili (da 0,1 a 0,2 mm); segni medio sottili (da 0,3 a 0,5); segni di grosso spessore (da 0,6 a 1 mm e più); altri segni per indicare proiezioni (puntinato), elementi in vista virtuale (a tratti) e segni di sezione.

I segni medio sottili (0,3-0,5 mm) sono da adoperare per tutti quegli elementi non sezionati (nelle piante e nelle sezioni) e in vista diretta, a seconda della grandezza del disegno.

I segni interi, di grosso spessore (0,6-0,8 mm e oltre), sono da utilizzare, in relazione alle dimensioni dei disegni, per tutte le parti sezionate di un organismo architettonico, salvo casi particolari.

I segni a tratteggio, di spessore medio sottile, si usano per rappresentare elementi in vista virtuale, vale a dire quelle parti di edificio che, quando si esegue una pianta o una sezione, si ritiene utile raffigurare, benché si immaginino tolte, oppure giacciano oltre il piano sezione, ma si voglia evidenziarne la presenza.

I segni a puntinato, di spessore medio sottile, si adoperano (normalmente nelle piante) per raffigurare elementi a volta in vista virtuale, per indicare, mediante ribaltamento a 90°, sezioni di volte o per proiettare «a terra» elementi posti sopra la linea di sezione.

I segni a tratto punto, di medio o grosso spessore, vengono di solito utilizzati per indicare dove passino le sezioni.

Altri tipi di segni possono essere proficuamente impiegati in casi particolari di raffigurazione, ma quando ciò avvenga non deve mancare l'apposita legenda esplicativa.

Piante. Il disegno di pianta di un edificio è, in pratica, un'operazione di sezione e proiezione, eseguita immaginando di tagliare un edificio con un piano orizzontale a una quota convenzionale stabilita rispetto ad un piano di calpestio, e di proiettare la parte sottostante al piano di sezione su un foglio da disegno (o piano di proiezione) (fig. 5).

In un edificio comune, la quota convenzionale cui si suole far passare il piano sezione per rappresentarlo in pianta è di circa m 1,20-1,40 dal piano di calpestio considerato; infatti, allorché si tratti di un'opera di dimensioni e caratteristiche normali, il piano sezione viene a passare, in tal modo, ad un livello idoneo a fornire il maggior numero di informazioni possibili sull'edificio in questione, tagliando, per così dire, le porte, le finestre, gli elementi architettonici al di sopra del basamento ecc. (fig. 6).

Tutte le parti sezionate (elementi portanti, tramezzature, particolari architettonici all'uopo eventualmente schematizzati) vanno disegnate con segno grosso, come si è detto, tenendo presente anche le dimensioni e la scala di riduzione del disegno stesso.

Tutte le parti architettoniche o decorative non sezionate, comprese tra il piano di sezione e quello di calpestio, debbono essere invece disegnate con segno di spessore medio, men-

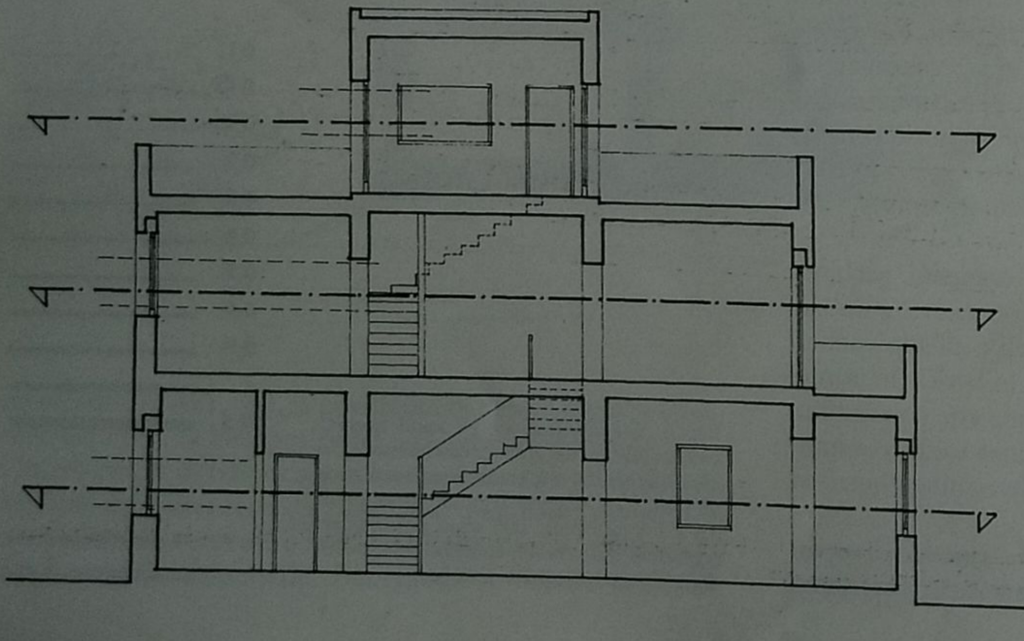


Fig. 5. Schema di sezione con indicazione della fascia altimetrica entro cui far passare il piano sezione per disegnare le piante dei vari piani di un edificio.

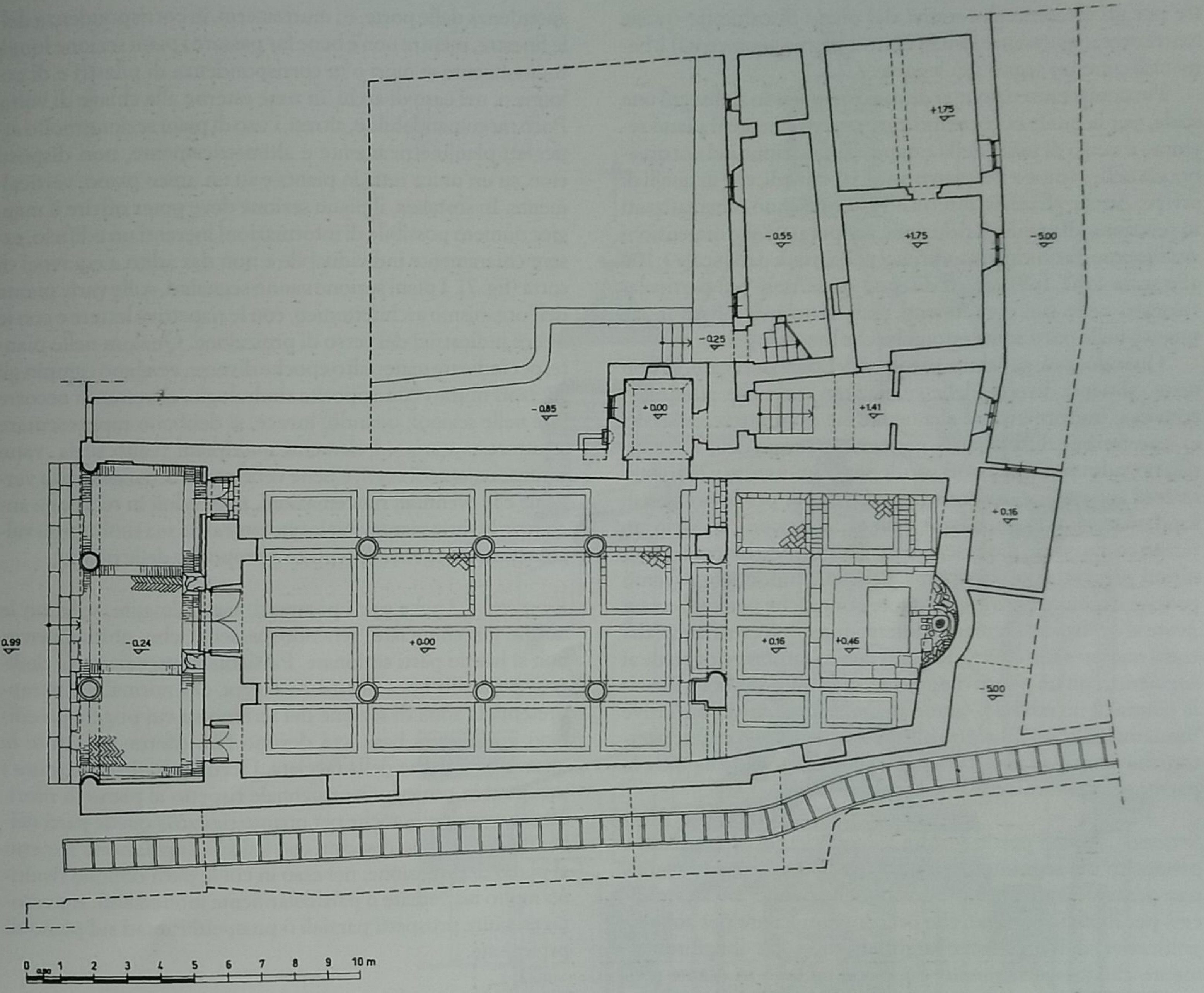


Fig. 6. Esempio di pianta base con schematizzazione degli elementi architettonici, valida per rappresentazioni in scala 1:100. Chiesa di Santa Maria Impensole a Narni, pianta del piano rialzato. Rilevamento M. Bartolini, A. Sebastiani, C. Altobelli.

tre per gli elementi decorativi del piano di calpestio (tarsie marmoree, pavimentazioni in cotto a motivi geometrici) è bene utilizzare un segno più leggero.

Particolare attenzione si deve porre quando si disegni una scala, per la quale occorre indicare correttamente il piano sezione, il verso di salita della rampa e la posizione del corrimano, sia nelle rampe e nei pianerottoli intermedi, che in quelli di arrivo. Anche gli infissi interni ed esterni vanno schematizzati in relazione alla scala di riduzione adoperata e alle dimensioni del disegno, facendo in modo che, nel passare dalla scala 1:100 alle scale 1:50, 1:20 ecc., il disegno sia sempre più particolareggiato nelle sue componenti reali tanto nell'infisso in sé, quanto nelle parti architettoniche che lo sostengono.

Quando, poi, su talune piante si debbano indicare, se non tutte, almeno diverse delle operazioni metriche effettuate, conviene uniformarsi ad alcune norme di carattere generale: a) è preferibile differenziare nettamente i segni delle linee ausiliarie, adottando spessori sottili per le quotature e le trilaterazioni secondarie, e spessori medio sottili per le poligonali fondamentali e le linee base delle trilaterazioni; b) se in un punto convergono molti segmenti, è bene interrompere questi ultimi prima del loro incontro, per non confondere il punto preciso di convergenza; c) le quote numeriche possono essere poste al centro del segmento, interrompendolo, o a fianco; d) i tratti quotati sono contraddistinti da un trattino ortogonale ai segmenti, con un punto di rinforzo, o da altro simbolo; e) nella pianta di un edificio, vanno evidenziate le parti costruttive fondamentali con un segno piuttosto spesso, le parti architettoniche principali in vista con un segno di spessore medio e le partiture decorative con uno spessore sottile.

Sezioni. Anche per le sezioni valgono le norme espresse a proposito dei segni e della grafia e le connotazioni di carattere generale indicate a proposito delle piante. Lo stesso dicasi per il piano sezione, che occorre far passare per zone significative dell'organismo architettonico, sia longitudinalmente che trasversalmente. Se, poi, l'edificio in esame presenta cortili, chiostrine, cavedi ecc., una o più sezioni devono riguardare questi elementi, come pure il vano scala e il vano ascensore, facendo molta attenzione al disegno delle rampe, specie se a volta.

È consigliabile, inoltre, sezionare i muri interni, in corrispondenza delle porte, e i muri esterni, in corrispondenza delle finestre, mentre non è bene far passare i piani sezione longitudinalmente ai muri o in corrispondenza di pilastri e di colonne o, nel caso di archi, in zone esterne alla chiave di volta. Poco raccomandabile è, altresì, l'uso di piani sezione molto articolati planimetricamente e altimetricamente, non disposti cioè, su un'unica retta in pianta e su un unico piano, verticalmente. In sostanza, il piano sezione deve poter offrire il maggior numero possibile di informazioni inerenti un edificio, essere chiaramente individuabile e non dar adito a equivoci di sorta (fig. 7). I piani sezione vanno segnalati, sulle varie piante dell'organismo architettonico, con le rispettive lettere e con le frecce indicatrici del verso di proiezione. Qualora nelle piante, per indicare materiali o epoche diverse, vengano campiti gli spessori murari con apposita simbologia, altrettanto occorre fare nelle sezioni; quando, invece, si debbano rappresentare strutture murarie ed elementi multipiani (vano scala, vano ascensore, cavedi ecc.), è bene verificarne la rispondenza verticale e le eventuali rastremazioni, ponendoli in relazione anche con le varie piante. Per la quotatura e la sua simbologia valgono le norme generali esposte a proposito delle piante.

Prospetti. Anche per i prospetti, naturalmente, valgono le norme già enunciate, tenendo presente che, abitualmente, non si hanno parti sezionate. Particolare attenzione va dedicata, però, alla linea di attacco a terra, che normalmente rappresenta la zona di sezione del terreno su cui poggia un edificio, e alla retta base, cui devono fare riferimento tutte le quote altimetriche della facciata. Occorre, inoltre, eseguire i prospetti in proiezione ortogonale rispetto al piano di riferimento principale, anche per quanto riguarda quelle parti dell'edificio che sono disposte con leggera angolazione rispetto al piano di proiezione; nel caso in cui le parti oblique risultino molto rastremate o particolarmente interessanti, si possono eseguire prospetti parziali o prospetti ruotati sul piano di proiezione.

Convenzioni grafiche e simbologia

Le varie categorie di simboli da utilizzare nella redazione dei grafici di rilevamento sono strettamente connesse con la

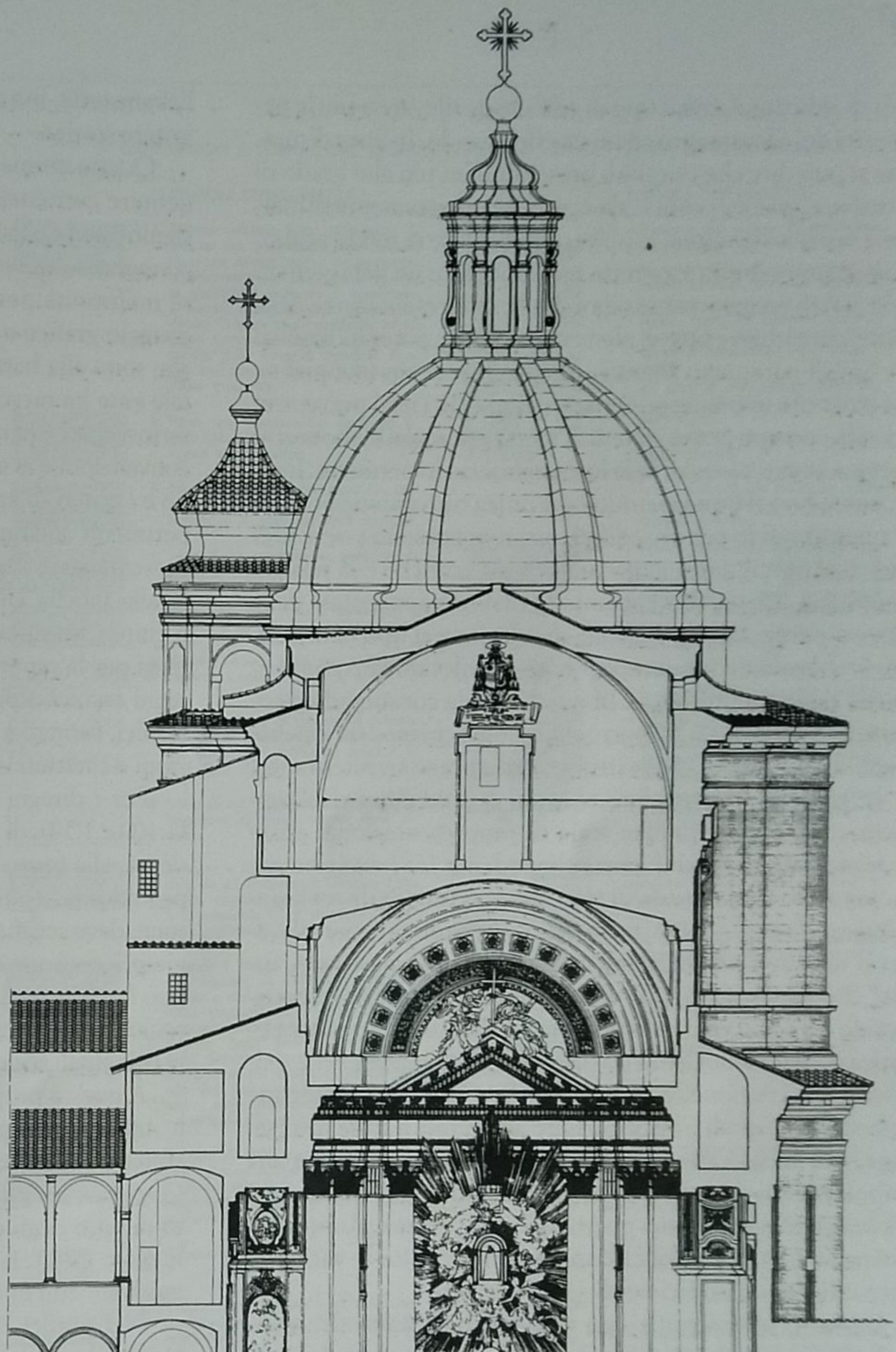


Fig. 7. Roma, chiesa di San Salvatore in Lauro. Sezione trasversale. Rilevamento G. Nespeca.

scala di riduzione, con il tipo di edificio da rilevare e con le peculiarità del rilevamento che si sta effettuando. In linea di massima si può dire che i simboli presentino un più alto grado di astrazione, quanto più la scala è piccola: un paramento di mattoni a vista, ad esempio, si può rappresentare in modo simbolico con una campitura a rette orizzontali, su un prospetto in scala 1:100, mentre nella scala 1:20, la rappresentazione deve evidenziare quasi i singoli elementi, tanto da poter individuare i tipi di paramenti murari. Analogamente, su una pianta, una struttura in pietra, sezionata, nella scala 1:100 può essere indicata con una grafia sintetica, mentre in scala 1:20 occorre disegnare i vari blocchi, se la loro grandezza lo permette. Inoltre, come non vi è una metodologia unica o un unico tipo di rilevamento valido per più edifici, così non possono essere prefissate, se non in linea generale, le scale grafiche e la relativa simbologia. Spesso succede, infatti, di dover approntare delle nuove o particolari simbologie, in relazione al tipo di organismo architettonico o alla specificità del rilevamento o alle richieste della committenza. In questi casi la consuetudine comune consiglia di predisporre simbologie chiare e facilmente leggibili e di non discostarsi troppo dalla prassi architettonica.

In generale, va osservato che, per quanto riguarda il rapporto convenzione grafica-scala di rappresentazione, esiste un legame diretto di influenza-dipendenza fra i due elementi, così come alcune scale di riduzione, definibili di «collegamento» o di «frontiera», possono essere utilizzate per rilevamenti urbani e per rilevamenti architettonici. Se è vero, infatti, che spesso ad una certa scala di rappresentazione corrisponde un certo tipo di simbologia e che, di contro, la schematizzazione di un elemento o fenomeno dipende anche dalla scala di riduzione, è altrettanto vero che esistono alcune simbologie, le quali possono essere adoperate a scale diverse: valga, per tutti, l'esempio offerto dalla tabella relativa alla simbologia dei periodi storici, la quale può essere utilizzata, in linea generale, per una pianta al 200 o per una planimetria urbana al 2000, per evidenziare rispettivamente le varie fasi costruttive di un edificio o di settori urbani.

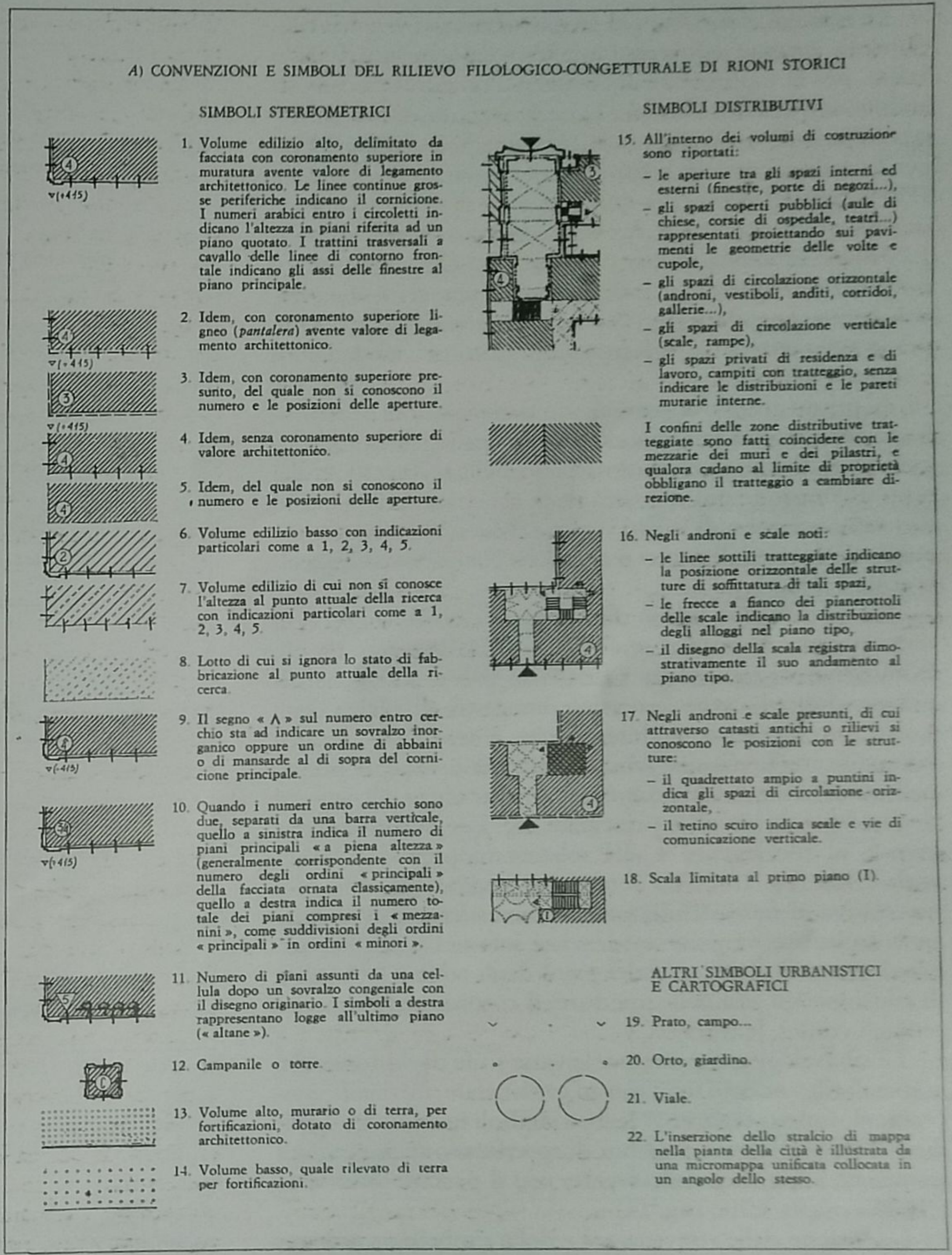
Da vario tempo ormai, sia a livello internazionale, attraverso l'ISO (International Organization for Standardization), sia a livello nazionale, mediante l'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione), sono state elaborate moltissime convenzioni, riguardanti non solo l'edilizia, la meccanica e l'ebanisteria, ma anche l'architettura dei centri urbani a carattere storico.

Queste norme e simboli grafici derivano dalla necessità di definire convenzionalmente il maggior numero di elementi significativi dell'architettura e di semplificare al massimo l'iconografia degli elementi stessi, al fine di ottenere la maggiore uniformità possibile di risultati e la creazione di un linguaggio grafico a comprensione universale: concetti, questi, che sono alla base di tutta la normativa UNI. Fino ad oggi, tale ente ha raccolto le convenzioni grafiche elaborate per i settori citati e per altri ancora in tabelle contenenti, oltre alle convenzioni e ai simboli, anche la descrizione di essi, il campo e i criteri di applicazione, vari esempi ecc. Tra quelle più pertinenti all'argomento in oggetto, che è quello della rappresentazione degli insediamenti urbani (fig. 8), e in aggiunta alla tabella UNI 7310-74, possono essere qui citate, ad esempio, le seguenti tabelle: UNI 3972 (Disegni tecnici, tratteggi per la rappresentazione dei materiali), UNI 396-8 (Disegni tecnici, tipi e grossezze di linee), UNI 3968 (Disegni tecnici, formati a piegatura dei fogli) e UNI 7559 (Scritturazioni e caratteri unificati).

Per i disegni redatti nelle più usuali scale di riduzione (1:100 e 1:50), di volta in volta, il rilevatore, in base alla grandezza, alla forma, alla ricchezza dei dettagli, al grado di approfondimento richiesto e alle scale di riduzione più opportune, deve scegliere e adattare allo specifico caso le simbologie più consone da utilizzare nei grafici. In prima istanza si può fare riferimento a quelle in uso nei vari settori (architettonico, catastale, storico-cronologico, archeologico ecc.) e alle principali scale di rappresentazione.

A questo proposito vengono qui presentate diverse tavole, utili per una prima casistica sull'argomento: da quelle architettoniche a quelle della Soprintendenza, da quelle del *Corpus basilicarum* a quelle per la rappresentazione dello stato di fatto degli edifici ecc. Vengono inoltre riproposte, per le scale 1:200, 1:100 e 1:50 varie simbologie che si sono dimostrate utili in questi anni.

Nei grafici con denominatore di scala inferiore a 50 (1:20), il problema ha minore importanza, in quanto molto spesso conviene indicare ogni struttura ed ogni elemento architettonico, schematizzandone la reale conformazione, invece di ricorrere a convenzioni più o meno astratte.



A) CONVENZIONI E SIMBOLI DEL RILIEVO FILOLOGICO-CONGETTURALE DI RIONI STORICI

SIMBOLI STEREOMETRICI

1. Volume edilizio alto, delimitato da facciata con coronamento superiore in muratura avente valore di legamento architettonico. Le linee continue grosse periferiche indicano il cornicione. I numeri arabici entro i circoletti indicano l'altezza in piani riferita ad un piano quotato. I trattini trasversali a cavallo delle linee di contorno frontale indicano gli assi delle finestre al piano principale.
2. Idem, con coronamento superiore ligneo (*pantalera*) avente valore di legamento architettonico.
3. Idem, con coronamento superiore presunto, del quale non si conoscono il numero e le posizioni delle aperture.
4. Idem, senza coronamento superiore di valore architettonico.
5. Idem, del quale non si conoscono il numero e le posizioni delle aperture.
6. Volume edilizio basso con indicazioni particolari come a 1, 2, 3, 4, 5.
7. Volume edilizio di cui non si conosce l'altezza al punto attuale della ricerca con indicazioni particolari come a 1, 2, 3, 4, 5.
8. Lotto di cui si ignora lo stato di fabbricazione al punto attuale della ricerca.
9. Il segno « ∧ » sul numero entro cerchio sta ad indicare un sovralzo inorganico oppure un ordine di abbaini o di mansarde al di sopra del cornicione principale.
10. Quando i numeri entro cerchio sono due, separati da una barra verticale, quello a sinistra indica il numero di piani principali « a piena altezza » (generalmente corrispondente con il numero degli ordini « principali » della facciata ornata classicamente), quello a destra indica il numero totale dei piani compresi i « mezzanini », come suddivisioni degli ordini « principali » in ordini « minori ».
11. Numero di piani assunti da una cellula dopo un sovralzo congeniale con il disegno originario. I simboli a destra rappresentano logge all'ultimo piano (« altane »).
12. Campanile o torre.
13. Volume alto, murario o di terra, per fortificazioni, dotato di coronamento architettonico.
14. Volume basso, quale rilevato di terra per fortificazioni.

SIMBOLI DISTRIBUTIVI

15. All'interno dei volumi di costruzione sono riportati:
    - le aperture tra gli spazi interni ed esterni (finestre, porte di negozi...),
    - gli spazi coperti pubblici (aule di chiese, corsie di ospedale, teatri...) rappresentati proiettando sui pavimenti le geometrie delle volte e cupole,
    - gli spazi di circolazione orizzontale (androni, vestiboli, anditi, corridoi, gallerie...),
    - gli spazi di circolazione verticale (scale, rampe),
    - gli spazi privati di residenza e di lavoro, campiti con tratteggio, senza indicare le distribuzioni e le pareti murarie interne.

    I confini delle zone distributive tratteggiate sono fatti coincidere con le mezzarie dei muri e dei pilastri, e qualora cadano al limite di proprietà obbligano il tratteggio a cambiare direzione.
16. Negli androni e scale noti:
    - le linee sottili tratteggiate indicano la posizione orizzontale delle strutture di soffittatura di tali spazi,
    - le frecce a fianco dei pianerottoli delle scale indicano la distribuzione degli alloggi nel piano tipo,
    - il disegno della scala registra dimostrativamente il suo andamento al piano tipo.
17. Negli androni e scale presunti, di cui attraverso catasti antichi o rilievi si conoscono le posizioni con le strutture:
    - il quadrettato ampio a puntini indica gli spazi di circolazione orizzontale,
    - il retino scuro indica scale e vie di comunicazione verticale.
18. Scala limitata al primo piano (I).

ALTRI SIMBOLI URBANISTICI E CARTOGRAFICI

19. Prato, campo...
20. Orto, giardino.
21. Viale.
22. L'inserzione dello stralcio di mappa nella pianta della città è illustrata da una micromappa unificata collocata in un angolo dello stesso.

Fig. 8. Simboli usati dall'Istituto di Architettura Tecnica del Politecnico di Torino per i rilevamenti di tipo filologico-congetturale di vari centri del Piemonte (successivamente trasformata nella norma UNI 7310-74).

Le scale di riduzione più frequentemente usate nel rilevamento urbano ed architettonico sono quelle 1:1000 e 1:500, per la rappresentazione plano-altimetrica di contesti ambientali; quella 1:200, per la raffigurazione di comparti o settori urbani e di complessi monumentali; quella 1:100, per la delineazione architettonica di singoli edifici. La scala 1:50 si presta bene per la raffigurazione di opere di grande qualità architettonica e ricchezza plastica, mentre quella 1:20 viene utilizzata sia per piccoli edifici che per delineare particolari architettonici e decorativi di una certa complessità. Infine, le scale 1:10, 1:5 e 1:1 si prestano efficacemente per graficizzare dettagli, particolari costruttivi, modanature e singoli elementi.

Al primo gruppo appartengono le convenzioni e i simboli che consentono una graficizzazione degli elementi più significativi di un insediamento urbano, nella scala 1:1000, una rappresentazione più specifica degli aspetti salienti a livello di settori urbani e di isolati (scala 1:500) e una buona delineazione dei singoli edifici o di piccoli complessi edilizi, nella scala 1:200.

Più in dettaglio si può dire che per ciò che concerne il rilevamento urbano, nei grafici in scala 1:1000 (cfr. fig. 9), le convenzioni riguardano i fenomeni edilizi ed ambientali più significativi, come le cortine omogenee di rilievo degli isolati, le emergenze architettoniche, i terrapieni, le aree non edificate, le essenze arboree, le mura urbane, le principali quote altimetriche, nonché i numeri civici, gli ingressi degli edifici, la viabilità principale ecc. Per quanto attiene, invece, al rilevamento e alla relativa rappresentazione in scala 1:500 (fig. 10), è da notare una maggiore specificazione relativa ai fatti architettonico-urbanistici che caratterizzano un isolato: vengono evidenziati, infatti, i portici, gli androni, i cortili, il numero dei piani degli edifici, le facciate di rifusione, gli assi delle aperture, il coronamento superiore degli edifici, le torri ecc.

Le simbologie proposte per le varie scale di riduzione dei grafici di rilevamento tendono ad evidenziare, mediante convenzioni, varie categorie di segni e simboli facilmente individuabili, diversificati per ambiti di specificazione. Il grado di astrazione adottato è decrescente, con il passare dalla scala 1:1000 a quella 1:200 (fig. 11).

L'adozione delle convenzioni e della simbologia non an-

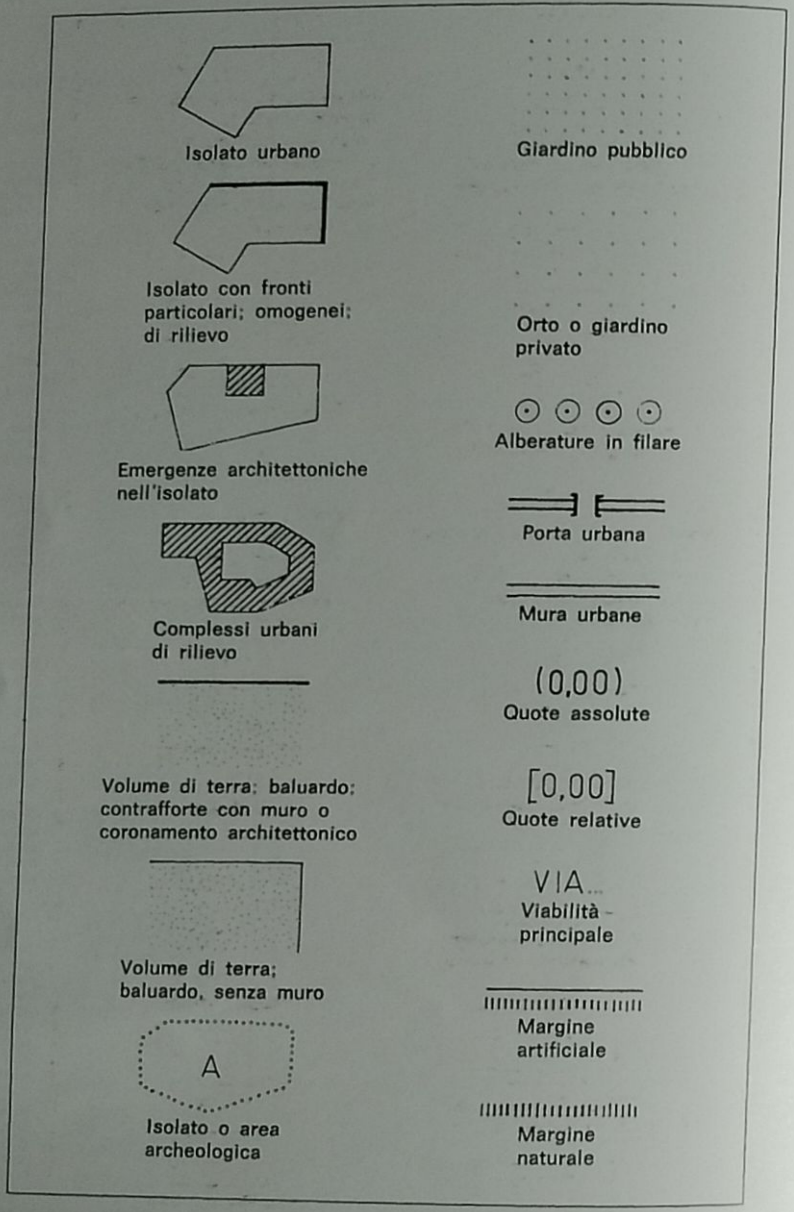


Fig. 9. Proposta di simbologia per elaborazioni planimetriche urbane nel rapporto 1:1000.

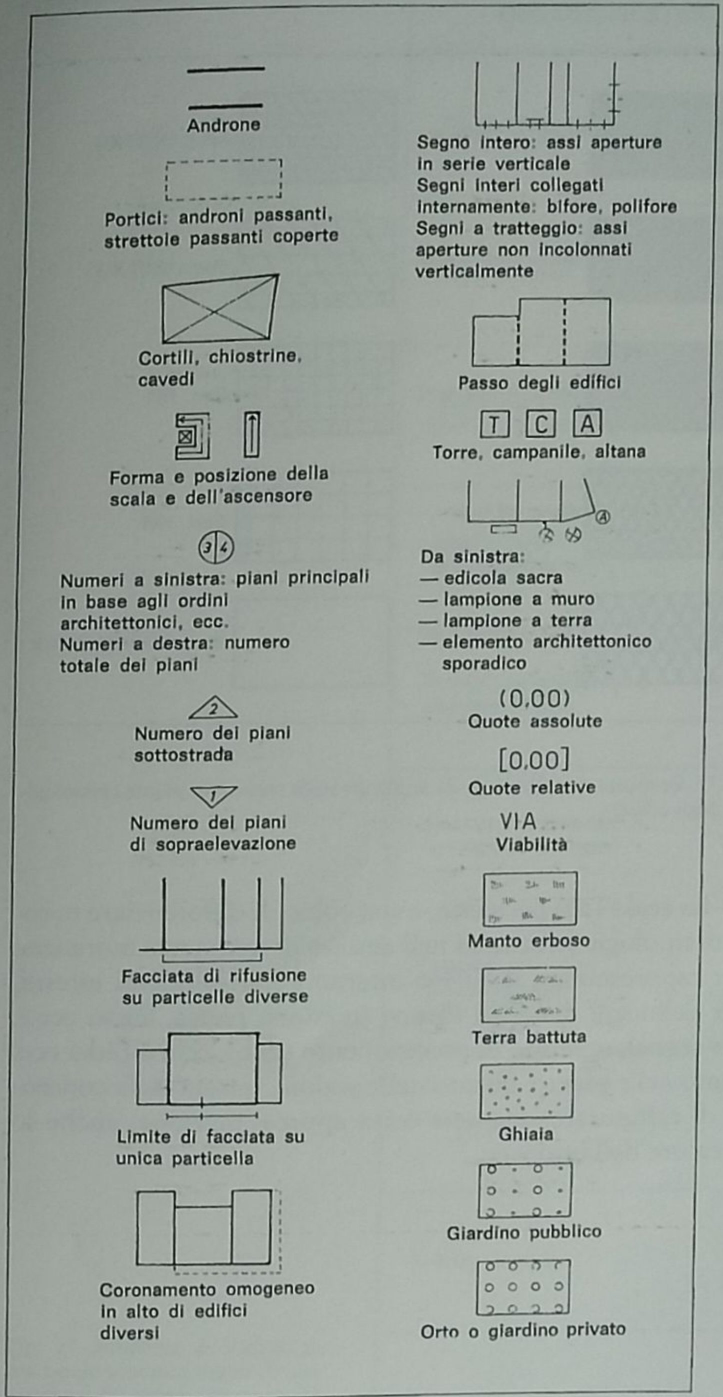


Fig. 10. Proposta di simbologia per elaborazioni di planimetrie nel rapporto 1:500.

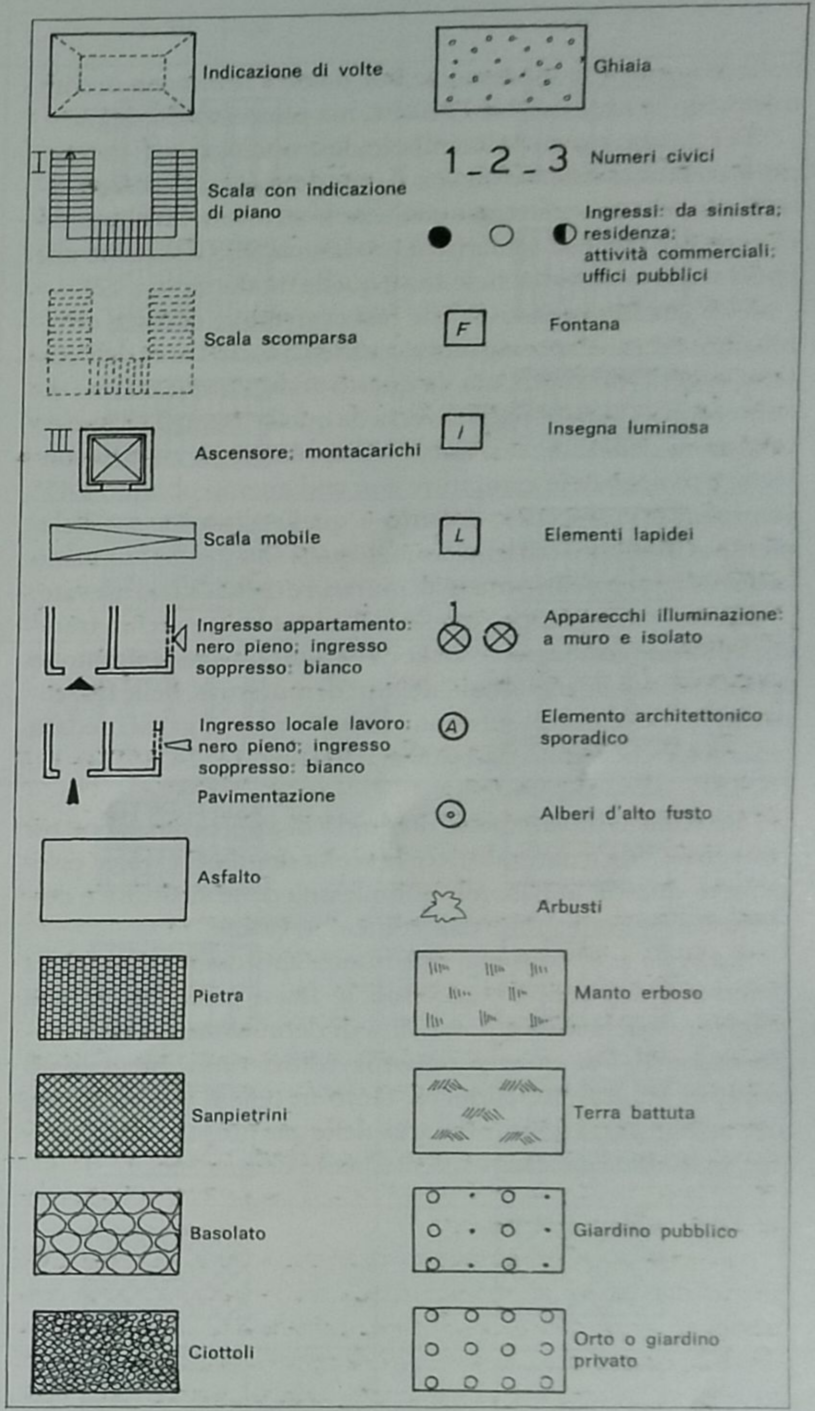


Fig. 11. Proposta di simbologia per le planimetrie in scala 1:200.

nulla le norme di rappresentazione e non è nemmeno in contrasto con le norme UNI 7310-74, ma piuttosto le integra.

Per quanto riguarda la simbologia cronologica dei vari periodi architettonici, si è seguìto il criterio, adottato già da molti, di rendere con tratteggio più fitto le strutture architettoniche più antiche e di schiarire il medesimo, in riferimento alle epoche che via via si avvicinano a quella moderna (fig. 12).

Nei grafici esplicativi delle fasi costruttive occorre differenziare eventuali preesistenze, ricadenti entro l'area dell'edificio oggetto di studio, ma da questo architettonicamente distinte, con una simbologia diversa da quella usata per il nucleo originario dell'edificio stesso. Nell'applicazione pratica conviene privilegiare le campiture con andamento obliquo a 45° (semplici o incrociate), rispetto a quelle disposte parallelamente ai margini del foglio, le quali quasi sempre determinano la disposizione delle principali murature dell'edificio rilevato.

Al secondo gruppo, quello del rilevamento architettonico, appartengono le convenzioni e i simboli che consentono specificazioni dei materiali, dei tipi di murature, delle fasi costruttive, delle pavimentazioni, da utilizzare in grafici redatti nelle scale che vanno da 1:200 a 1:50 (figg. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19).

La scala 1:100 ammette un grado di approssimazione tra convenzionale e naturalistico: la scelta dei simboli deve essere fatta, quindi, in base alla complessità delle strutture e delle trasformazioni subite dall'edificio in esame.

La scala 1:50 consente una buona approssimazione della scansione dell'edificio, secondo le linee principali, e una maggiore attenzione e possibilità di definizione delle tipologie murarie. Per quanto riguarda edifici rinascimentali, ad esempio, è facile individuare, tanto in pianta che in alzato, una schematizzazione primaria delle partiture architettoniche, graficizzabile indipendentemente dai particolari.

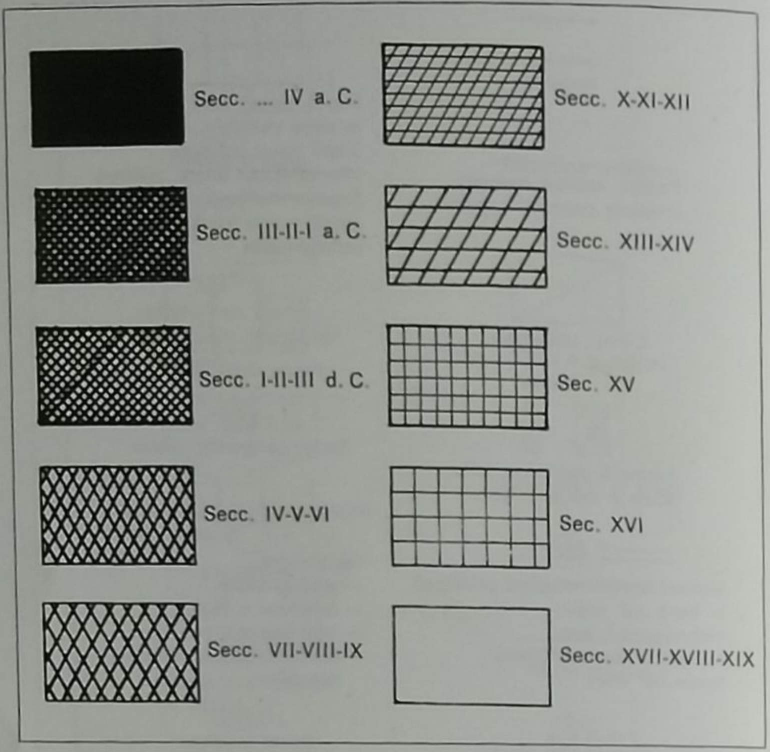


Fig. 12. Proposta di simbologia da applicare nella stesura di piante cronologiche degli edifici.

La scala 1:20 permette, a sua volta, di differenziare eventuali tipologie strutturali nell'ambito di una stessa muratura: per rappresentare il nucleo interno e i rivestimenti esterni, per delineare materiali diversi (mattoni, pietra, legno ecc.), per segnalare il tipo di accostamento tra blocchi lapidei ecc. Tanto nelle piante, quanto nelle sezioni, questa scala consente di raffigurare, con una certa approssimazione, anche lo spessore dell'intonaco.

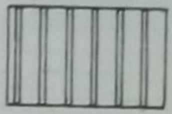
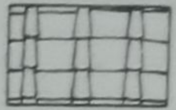
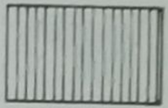
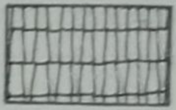
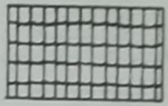
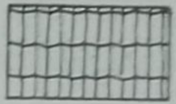
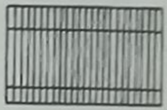
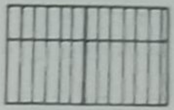
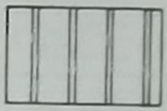
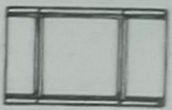
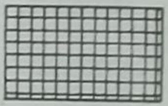
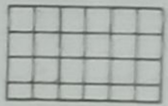
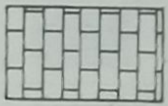
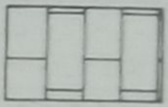
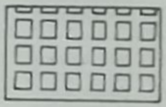
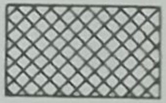
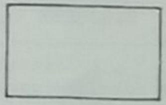
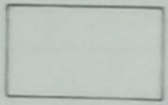
TIPO DI COPERTURA	1: 200 - 1:100	1: 50 - 1:20
Tegole alla romana		
Canali o coppi		
Tegole alla marsigliese, portoghese e olandese		
Eternit o simili di plastica ondulit		
A vetri con struttura portante di ferro		
Terrazza con piastrelle (graniglia, cotto, gres)		
Terrazza con lastre di marmo		
Vetro cemento		
Ardesia - lavagna		
Asfalto		

Fig. 13. Proposta di simbologia per rappresentare i manti di protezione delle coperture, tanto nelle piante quanto (opportunamente scorciati) nei prospetti, alle scale 1:100 e 1:50.

TIPI DI PAVIMENTAZIONE	1:200 - 1:100	1:50 - 1:20
Opera spicata		
Signino		
Mosaico		
Cotto		
Sectile		
Basolato		
Battuto di cls		
Litoide in lastre		
Lastre di riuso		
Legno		
Piastrelle di graniglia, gres...		
Vetro cemento		
Grigliato metallico		
Terra battuta		

Fig. 14. Proposta di simbologia per rappresentare i vari tipi di pavimentazione negli edifici antichi e in quelli attuali.

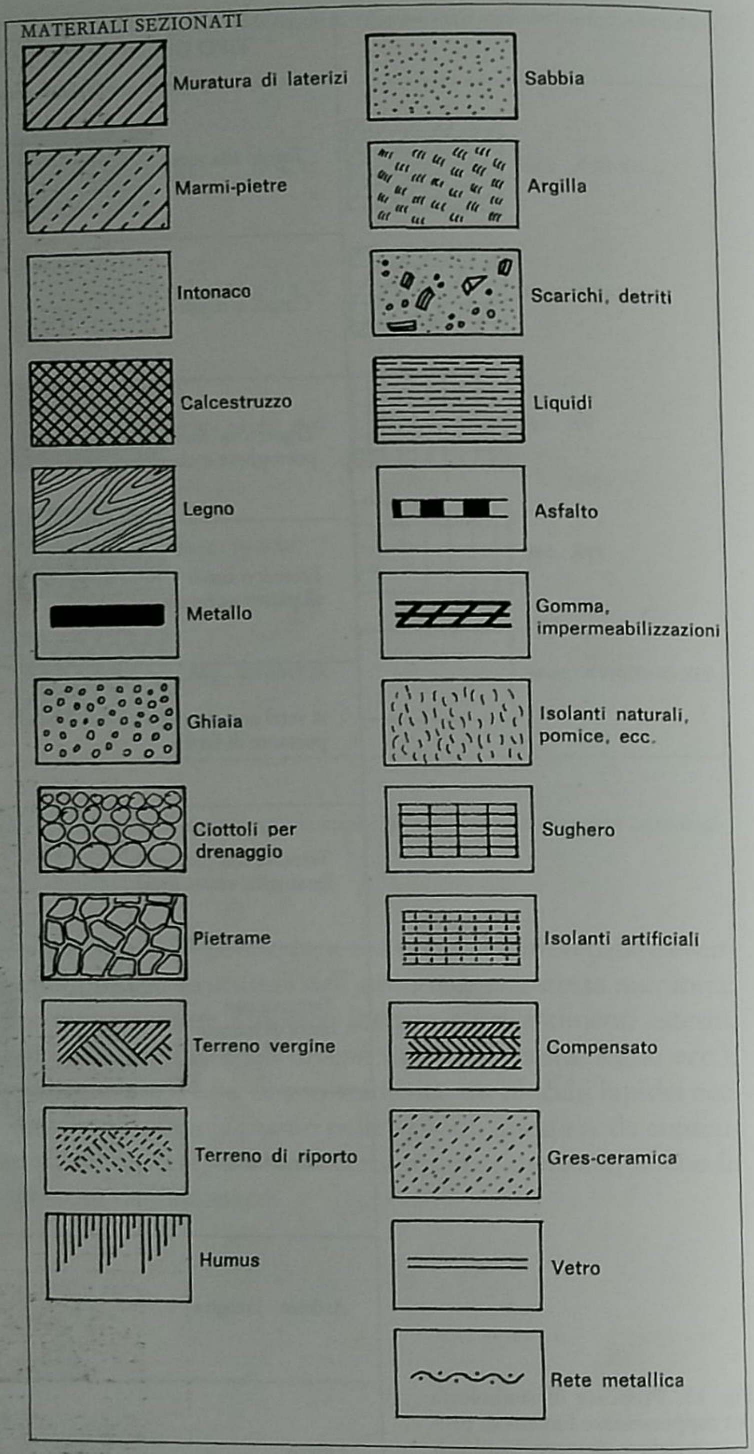


Fig. 15. Proposta di simbologia generale inerente i materiali correnti impiegati nell'edilizia attuale.

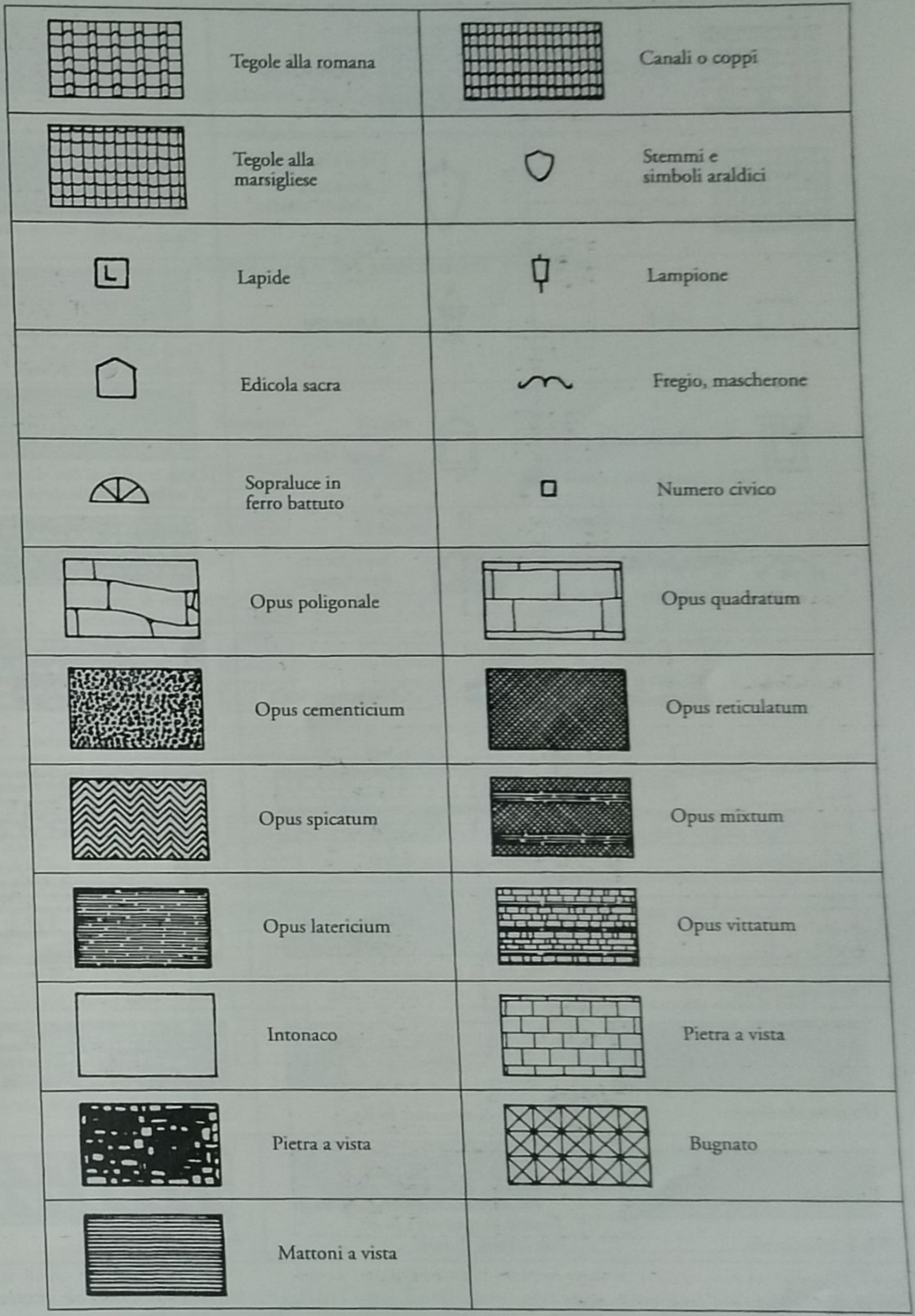


Fig. 16. Simbologia per prospetti in scala 1:100.

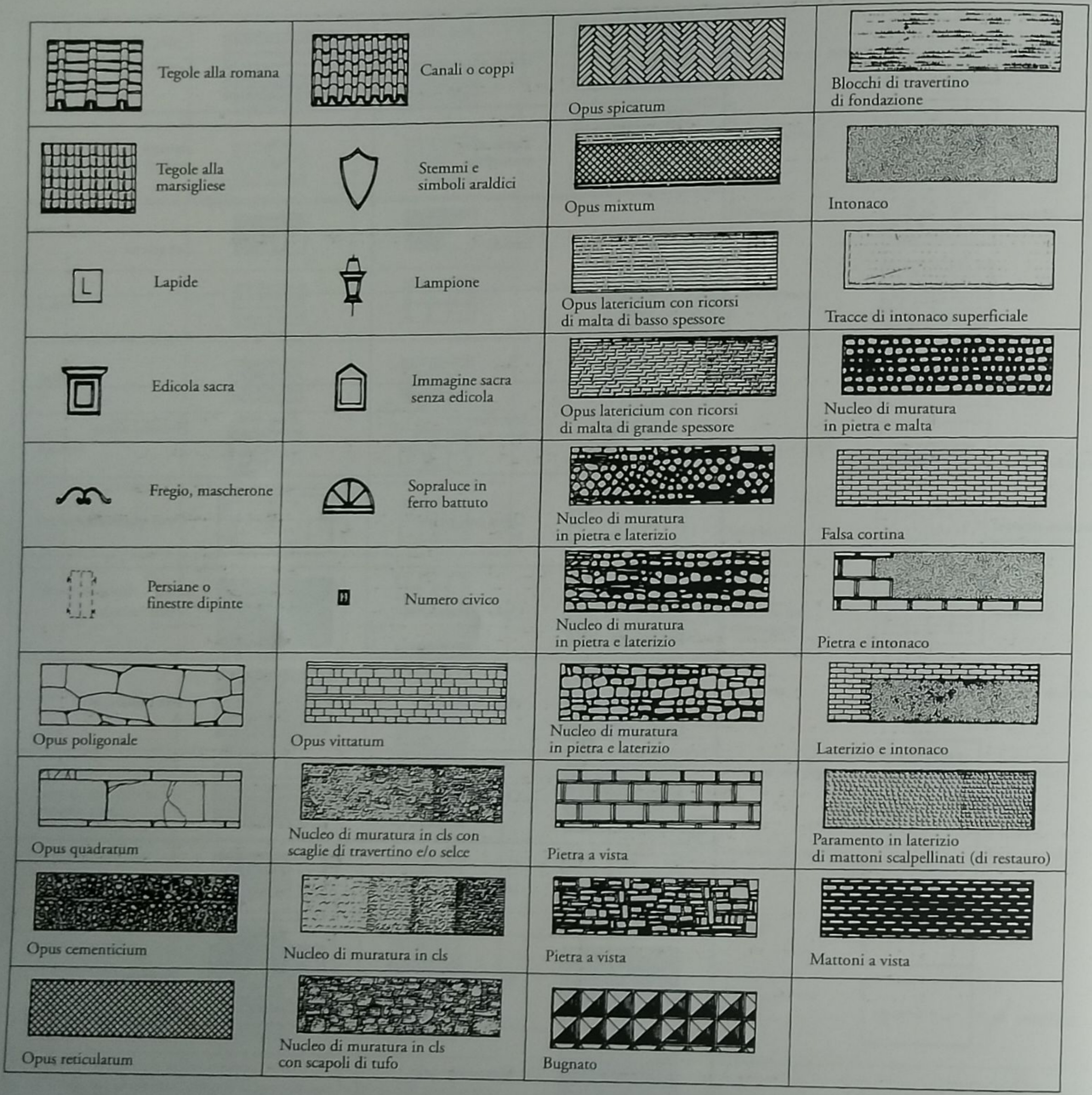


Fig. 17. Simbologia per prospetti in scala 1:50.

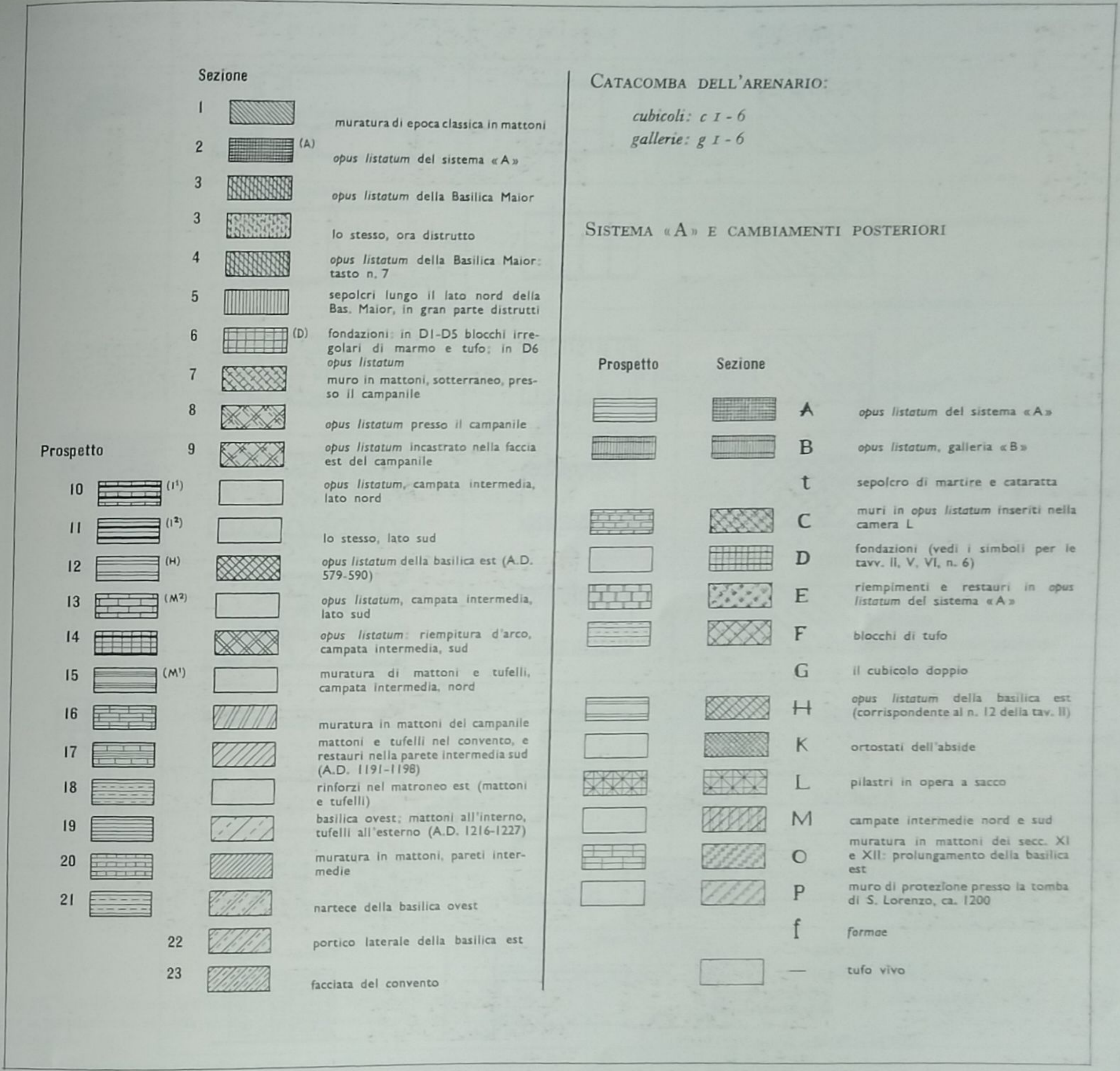


Fig. 18. Esempio di simbologia tipo utilizzata per la stesura dei grafici riportati nei volumi del *Corpus Basilicarum*.

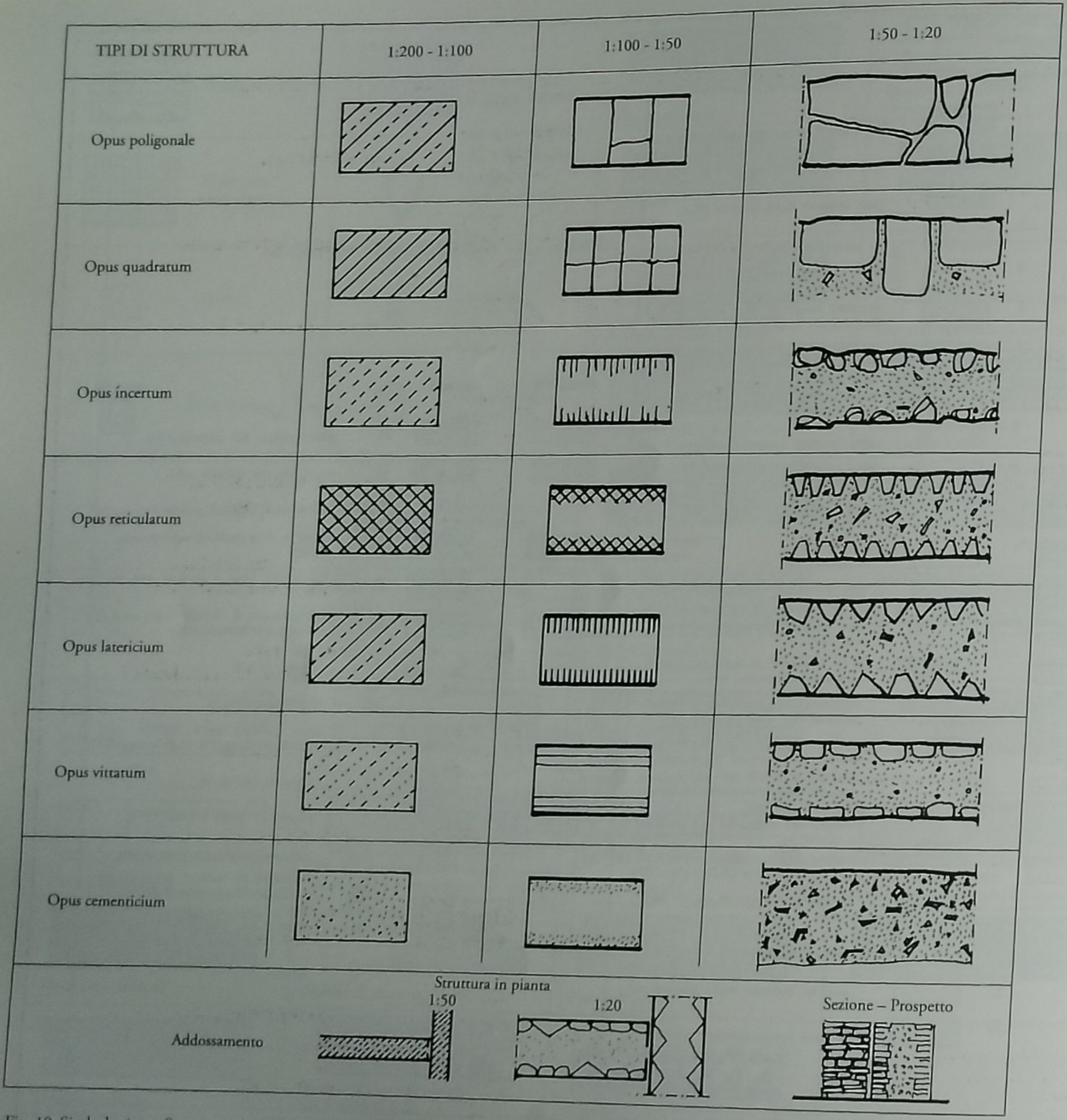
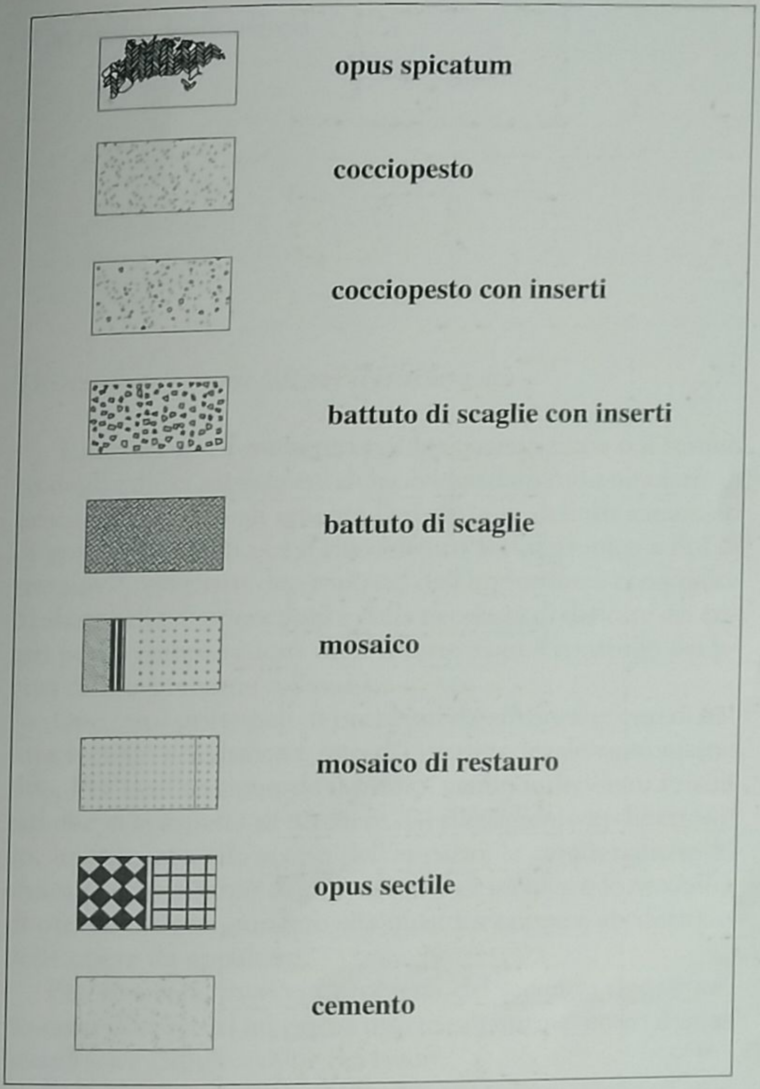


Fig. 19. Simbologia grafica per vari tipi di strutture murarie da adottare alle varie scale di riduzione e per l'addossamento di murature differenti tra loro (cfr. G. Carbonara, 1990).



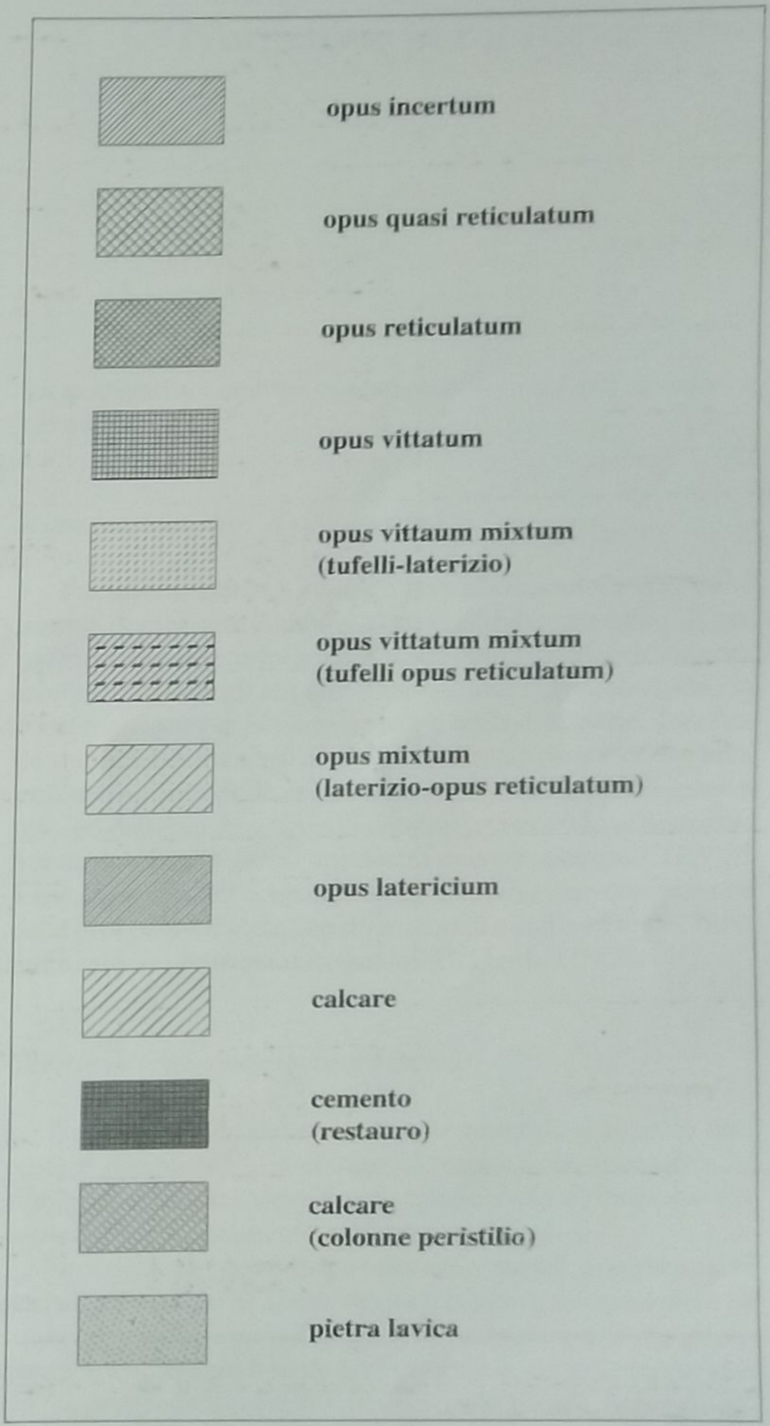


Fig. 20. Soprintendenza Archeologica di Pompei. Simbologia grafica utilizzata per la rappresentazione delle antiche pavimentazioni nei rilevamenti archeologici in scala 1:50.

Fig. 21. Soprintendenza Archeologica di Pompei. Simbologia grafica utilizzata per la rappresentazione, in sezione, delle strutture murarie, nei rilevamenti archeologici in scala 1:50.

Capitolo dodicesimo

Normative per il rilevamento

Disciplinari e capitolati per il rilevamento

L'attività di rilevamento per la conservazione o il restauro degli edifici monumentali ha evidenziato tutta una serie di problemi, tra i quali emerge l'esigenza di definire capitolati di appalto speciali per il rilevamento architettonico a fini di restauro[1], esigenze determinate dall'importanza economica di alcune di tali operazioni e dalla necessità di definire dei criteri per la comparazione delle offerte e per il controllo dei lavori di rilevamento (collaudi).

Due i tipi principali di problemi da affrontare: uno di natura tecnico-scientifica e uno di carattere legale amministrativo. Per quanto riguarda il primo, vanno individuati i risultati che ci si aspetta di ottenere dal rilevamento architettonico, in rapporto allo scopo dell'appalto, le caratteristiche richieste per ogni tipo di procedura e di tecnica e le modalità di previsione per giungere alla quantificazione e al controllo delle opere da appaltare.

Per risolvere, invece, i problemi del secondo tipo, è necessario riferirsi ad un primo insieme di norme, entro il quale collocare l'applicazione dei lavori.

Sostanzialmente, per dare una risposta al maggior numero di questioni poste dalla redazione del capitolato speciale, occorre tener conto di tre esigenze primarie: quella di individuare le conoscenze inerenti il bene architettonico, utili per il restauratore; quella di definire l'essenza e i modi di integrazione delle differenti tecniche di rilevamento, cui è necessario e possibile far ricorso; quella, infine, di corrispondere in modo più ampio possibile alle predette due esigenze, affinché il capitolato stesso possa essere utilizzato come guida e strumento normativo, ridefinendone, quando sia necessario, l'ambito operativo in termini più specifici o circoscritti.

Il quadro normativo di riferimento

Per questo aspetto, occorre fare riferimento a tre tipi di norme: di carattere legislativo, procedurale, esecutivo. Il primo gruppo deve comprende le disposizioni di legge sulla contabilità di Stato e gli appalti[2], disposizioni che vanno prese in considerazione per la parte generale della disciplina; il secondo tratta dei documenti ai quali è riconosciuto un valore proprio nell'ambito delle procedure: sono considerati di questo tipo, ad esempio, le schede di censimento e catalogazione elaborate dall'ICCD[3] ed alcuni documenti emanati dal CIPA[4]; il terzo, riguardante l'organizzazione e la redazione dei disegni e delle procedure d'indagine sui materiali e sull'ambiente, fa riferimento a quanto pubblicato dall'UNI e dall'ISO[5].

Obiettivi del rilevamento architettonico

Nella redazione di un capitolato generale d'appalto inerente il rilevamento finalizzato al restauro, la prima condizione da soddisfare deve essere quella della definizione dei contenuti del rilevamento architettonico stesso.

Sintetizzando quanto esposto nei capitoli precedenti, si può affermare che si tratta di quell'insieme di operazioni di studio, di misurazione e di analisi che permettono di comprendere e documentare il bene architettonico, sia in se stesso che nel rapporto con il contesto urbano o territoriale, nelle sue ca-

ratteristiche geometriche, dimensionali, struttturali e costruttive, oltre che formali e funzionali, riproponendone, nel contempo, la storia. Tale documentazione deve esplicitare il processo progettuale e costruttivo dell'opera, per comprendere appieno le ragioni delle scelte, a suo tempo fatte, e come esse siano state attuate, scelte di cui il monumento è testimonianza.

Questo complesso di indagini (con la relativa trascrizione grafica), piuttosto differente dall'elaborato metrico che normalmente viene definito «rilievo» e che non sempre ricostruisce con attendibilità almeno la forma geometrica di un edificio[6], spesso non viene eseguito durante l'iter progettuale per interventi di conservazione.

Fra le cause di una tale situazione, una delle più comuni è quella economica: infatti, i progetti di rilevamento e di restauro sono redatti spesso in forma sommaria, e il costo preventivato per i lavori, sottodimensionato; ciò comporta, quasi sempre, la necessità di rielaborare, molto più dell'auspicabile, i grafici dopo l'inizio dei lavori, quando migliora, ma tardivamente, il livello conoscitivo dell'opera.

Ne consegue un immancabile aumento di costi, senza contare gli eventuali guasti arrecati all'organismo edilizio.

Questo tipo di problemi potrebbe e dovrebbe essere evitato con l'esecuzione preliminare di un accurato rilevamento, il cui costo aggiuntivo risulterebbe di certo compensato dalle economie conseguenti ad una progettazione di restauro più oculata, pertinente un edificio che si conosce abbastanza e almeno tanto da poter evitare continue revisioni e varianti degli interventi previsti.

Caratteri del rilevamento architettonico finalizzato ad interventi di conservazione o restauro

Il rilevamento deve poter garantire al progettista del restauro la conoscenza effettiva, sia complessiva che di dettaglio, dell'opera in oggetto, delle sue vicende e dello stato di fatto delle varie parti di essa; solo se ciò avviene, il restauratore è in grado di operare le scelte più appropriate e di limitare, quanto possibile, gli imprevisti e i rischi che l'effettuazione dei lavori sempre comporta.

I dati che il progettista-restauratore si attende da una buona campagna di rilevamento possono essere così sintetizzati:

1. conoscenza formale e geometrica dell'edificio da rilevare, che consenta la comprensione della sua storia e del successivo iter progettuale-costruttivo. Coadiuvano questo tipo di conoscenza: a) il rilevamento topografico e urbanistico o ambientale; b) il rilevamento architettonico (compreso quello del colore); c) le fonti documentarie;

2. conoscenza tecnologica e fisica del manufatto in esame, che permetta di aver cognizione delle modalità costruttive, delle condizione statiche e di degrado. Rientrano in questa sfera conoscitiva: a) il rilevamento critico-strutturale; b) il rilevamento dello stato di conservazione (statico e dei materiali);

3. Possibilità di elaborare tavole tematiche di rilevamento, che consentano di approfondire aspetti particolari dell'opera rilevata. Elaborati appartenenti a questo settore sono: a) tavole degli impianti e delle acque; b) indagini strumentali (distruttive e non) ed eventuale monitoraggio nel tempo; g) carte tematiche; h) eventuali analisi archeometriche;

4. elaborazione di note storiche, redatte sia in seguito a ricerche appropriate, sia come frutto di osservazioni effettuate durante lo studio diretto del monumento. I relativi elaborati possono essere: a) eventuale schedatura storico-artistica (bibliografica, archivistica, iconografica; cfr. schede ICCD); b) mappa delle eventuali unità stratigrafiche.

Criteri generali per il rilevamento monumentale

1) Il capitolato deve considerare contestualmente tanto le indagini metriche e tecniche, quanto quelle bibliografiche, archivistiche ed iconografiche.

2) Un secondo criterio deve prevedere, per il rilevamento architettonico, una progettazione preliminare, una direzione dei lavori e un collaudo. La necessità di queste operazioni è resa esplicita dalla complessità del rilevamento stesso per gli edifici monumentali e dalla esigenza di ottenere garanzie circa l'adeguatezza dei criteri adottati, la scelta dei metodi, la correttezza procedurale e l'attendibilità dei risultati.

3) Un terzo criterio concerne la necessità di riferire il posizionamento dell'organismo architettonico al Sistema cartografico nazionale Gauss-Boaga, nonché al sistema di riferimento locale, adottato per il rilievo in scala 1:500 (ove questo esista) del centro storico di pertinenza[7].

4) Un altro criterio riguarda la elaborazione informatica del rilevamento, così da costituire, nel tempo, delle banche-dati urbane e territoriali.

5) Un quinto criterio è relativo all'accuratezza mensoria, che va definita in funzione della scala di rappresentazione e della finalità dell'indagine[8].

6) Infine, nelle operazioni pratiche, vanno seguite le prescrizioni che disciplinano, nella prassi, l'esecuzione del rilevamento diretto, di quello topografico, di quello fotogrammetrico e di quello informatico[9].

Criteri per la determinazione e l'esecuzione degli elaborati

La documentazione di un rilevamento deve essere completata con una relazione tecnica che illustri i criteri, le procedure e i metodi utilizzati. Per quanto attiene al formato delle tavole, si può fare riferimento all'apposita norma UNI/ISO così come per i grafici definitivi è prescritto l'uso di supporti indeformabili, l'adozione di un chiaro criterio (dal generale al particolare) di connessione tra i vari grafici e la distinzione tra le parti che sono state rilevate con metodi diversi.

L'edificio va descritto in tutte le sue parti (strutturali e non e di finitura), anche mediante tavole tematiche (impianti, ad esempio), onde fornire al progettista del restauro tutte le informazioni necessarie per poter razionalmente programmare gli interventi e calcolare i costi.

È necessario, poi, che la documentazione comprenda le tavole cronologiche, il repertorio storico-iconografico, la trascrizione delle lapidi ecc.

Il capitolato, infine, non può prescrivere specifiche simbologie per la rappresentazione alle varie scale, in quanto è più opportuno che sia l'ente appaltante a fornire tali codifiche, allo scopo di uniformare i rilevamenti anche sotto questo aspetto[10].

L'integrazione delle differenti tecniche di rilievo

Nella stessa campagna di rilevamento sono utilizzati diversi metodi per la definizione geometrica dell'edificio, tra i quali quello della trilaterazione, delle coordinate polari e delle coordinate cartesiane, nell'ambito del rilevamento diretto; quello topografico (per punti isolati), quello fotogrammetrico e quelli informatici, nell'ambito della misurazione indiretta. Per le analisi di tipo strutturale, si può far ricorso ad indagini microtopografiche e topografiche speciali, distruttive (carotaggi ecc.) e non distruttive (termografiche ecc.).

Quanto al rilevamento architettonico di edifici complessi, monumentali, presuppone, per la sua multidisciplinarietà, il concorso integrato di varie competenze professionali, tradizionali e nuove, tra cui quella dell'architetto rilevatore (con funzioni di capo progetto), del restitutista fotogrammetrico o informatico, del cartografo, del rilevatore di beni architettonici, del redattore cartografo, del disegnatore, oltre a quello di altre competenze, come quella del topografo, dell'aiutante topografo, del programmatore, dell'operatore fotografo e dell'operatore di laboratorio di fotografia e di fotoincisione.

Il progetto, la direzione lavori e il collaudo del rilevamento architettonico vedono, infine, competenze specifiche, rientranti nella sfera dell'attività dell'architetto, ma è chiaro che nuovi profili professionali devono essere delineati[11].

I costi

I costi presentano problemi di carattere generale (determinazione della natura dell'attività lavorativa, definizione del quadro delle incidenze, inquadramento in livelli funzionali del personale previsto, criteri di calcolo dei noli per le attrezzature) e di carattere specifico (tempi di lavorazione ecc.), per la definizione dei prezzi unitari che riguardano la specificità dell'opera da rilevare.

Parametri utili per la quantificazione dei livelli retributivi si possono ricavare analizzando le attività che caratterizzano il lavoro, come le operazioni di misurazione, anche strumentale (topografica, fotogrammetrica ed informatica), quelle di graficizzazione, di ripresa e stampa fotografica, di ricerca archivistica e bibliografica. Nello svolgimento delle predette operazioni, occorre valutare il costo del compenso dovuto agli operatori, quello dovuto all'uso delle attrezzature, al costo dei materiali, ai trasporti, all'incidenza delle spese generali e dell'utile d'impresa e ai criteri della revisione dei prezzi.

Sintesi della struttura di un capitolato speciale di appalto per il rilevamento architettonico a fini di restauro

Un buon capitolato per il rilevamento dovrebbe essere strutturato secondo il seguente schema:

CAPO I Oggetto ed ammontare dell'appalto. Designazione, forma e dimensioni principali delle opere da rilevare (artt. 1-7).

Preliminarmente va definito quale sia l'oggetto dell'appalto e l'importo presunto, complessivo, dei lavori di rilevamento; quindi vanno designati sommariamente i rilevamenti che saranno oggetto dell'appalto, la forma e le dimensioni delle opere da rilevare e i metodi previsti per il rilevamento, schematizzati in grafici preliminari.

Il capitolato deve prevedere che l'immobile da rilevare debba essere reso accessibile, a cura dell'ente appaltante. I rilievi andranno eseguiti nella successione prevista in un apposito programma operativo, che prevederà una ripartizione delle operazioni in lotti e che stimerà i tempi previsti; tutto il lavoro dovrà essere documentato in un apposito «giornale dei lavori».

CAPO II Esecuzione del rilievo ed elaborati grafici

Parte I Il progetto di rilevamento (artt. 8-11).

Progetto di rilevamento. Il progetto di rilevamento dovrà prevedere l'analisi, in ogni sua parte, dell'opera architettonica e precisare i metodi prescelti per l'attuazione del lavoro, definendo i tipi ed il numero degli elaborati necessari allo scopo; dovrà inoltre evidenziare le reti di inquadramento topografico, la posizione delle stazioni e i capisaldi.

Il progetto sarà costituito da grafici schematici (scala 1:500 o 1:200) e da una breve relazione esplicativa.

Dati generali degli elaborati relativi al progetto di rilevamento. Gli elaborati dovranno riportare la data di esecuzione, il nome degli autori e dei responsabili del progetto e la firma di approvazione della direzione dei lavori; degli stessi dati dovrà essere corredata ogni revisione apportata ai disegni, come pure di una relazione che esplichi le variazioni in oggetto.

Inquadramento geometrico del rilievo e predisposizione dell'opera architettonica al controllo differito. L'opera dovrà essere riferita ad un sistema cartesiano ortogonale locale, a sua volta collegato al Sistema nazionale Gauss-Boaga e, ove esista, al sistema di riferimento (in scala 1:500) adottato per il rilevamento dei centri storici. Sull'edificio andranno individuati e posizionati a questo scopo alcuni punti fissi che ne consentano eventuali controlli nel tempo.

Per quanto riguarda l'incertezza nelle misurazioni e nella redazione grafica, si rimanda a quanto detto nell'apposito capitolo (cfr. *supra*, cap. II).

Parte II Modalità di esecuzione del rilevamento (artt. 12-19).

Rilevamento diretto. Le misurazioni del rilevamento diretto potranno avvenire per irraggiamento o trilaterazione e saranno preferibilmente a lettura progressiva. Per misurare le lunghezze, si farà uso di strumenti millimetrati di precisione.

Come elementi di controllo, andranno consegnati all'ente appaltante i principali eidotipi redatti sul campo, oltre ad una relazione sulla metodologia utilizzata[12].

Dovrà essere considerata parte integrante del rilevamento una necessaria ed esuriente documentazione fotografica.

Rilevamento topografico. Si farà uso del rilevamento topografico allo scopo di definire una rete di inquadramento generale dell'edificio, che determini punti isolati di appoggio per il rilevamento diretto, fotogrammetrico e informatico.

I vertici della rete di inquadramento, inamovibili e di facile accesso, dovranno poter essere utilizzati, oltre che per il rilevamento in corso, anche da operatori che effettuino rilevamenti successivi. Sono parte integrante degli elaborati di rilievo richiesti, la planimetria quotata ed i profili dei vertici della rete di inquadramento[13].

Per determinare la posizione dei vertici della rete, si potrà far uso dei metodi della topografia classica e dei suoi sviluppi, fino all'uso delle stazioni totali di rilevamento.

I risultati di queste operazioni di rilievo costituiranno un archivio di coordinate dei vertici delle poligonali: anche per questa fase sono richiesti elaborati[14] recanti le rappresentazioni dei vertici quotati della rete, sul piano XY, alle scale 1:200, 1:100 oppure 1:50; in ogni caso, andranno rispettate le tolleranze prescritte in merito.

Negli elaborati del progetto di rilievo fotogrammetrico, oltre ai punti di ripresa, si dovranno individuare la copertura stereofotogrammetrica di alcuni elementi e parte dell'organismo architettonico oggetto del rilevamento: verranno così definiti i modelli stereoscopici che, concatenati, costituiscono la registrazione fotogrammetrica dei dati metrici e qualitativi delle superfici dell'edificio. Per ogni modello stereoscopico andranno rilevati almeno sei punti di appoggio, che saranno rappresentati sui piani di riferimento con elaborati di tipo informatico o manuale alle scale 1:200, 1:100, 1:50[15].

Rilevamento fotogrammetrico. Nell'elaborazione del progetto di ripresa, la sovrapposizione stereoscopica di ogni coppia di fotogrammi dovrà essere compresa tra il 60% e l'85%; si cercherà, per quanto possibile, di mantenere l'asse di presa perpendicolare al piano principale dell'oggetto che si intende riprendere[16]; si avrà, quindi, un asse orizzontale nel caso di rilevamento di parti, un asse verticale per le volte o i soffitti.

Per ogni coppia stereoscopica dovranno esservi almeno 6 punti di appoggio[17], scelti tra quelli notevoli della superficie dell'edificio, chiaramente distinguibili sui fotogrammi e facilmente collimabili con gli strumenti; qualora non sia possibile individuare dei punti notevoli, si utilizzeranno delle mire per riprese fotografiche, opportunamente posizionate e numerate.

La restituzione dei fotogrammi sarà effettuata, alla scala di riduzione prescritta, con stereocomparatori analitici o con elaboratori ugualmente affidabili e precisi[18].

I dati graficizzati esprimeranno il rilevamento come proiezione ortogonale su un piano verticale mediamente parallelo a quello principale dell'edificio: per ogni prospetto rilevato, saranno restituiti, oltre alla proiezione ortogonale, due profili; nel caso di volte o cupole e di rilievi planimetrici in genere, sarà rappresentata la proiezione su un piano orizzontale, tradotta in due grafici: uno con quella planimetrica e l'altro con quella altimetrica a curve di livello[19].

In caso di espressa richiesta della direzione dei lavori, si dovranno eseguire particolari elaborazioni fotografiche, derivate dai fotogrammi metrici (fotopiani ecc.).

Rilevamento del quadro fessurativo. Il quadro fessurativo sarà rilevato con particolare attenzione all'andamento delle lesioni, alla loro diffusione, alla loro estensione e rilevanza. Se la forma generale del solido murario fosse alterata, il rilevamento sarà finalizzato ad acquisire ogni possibile informazione utile per la diagnosi preliminare all'intervento di restauro.

Altri metodi di rilevamento. Il capitolato deve prevedere che, per raggiungere una migliore conoscenza dell'organismo edilizio, possano essere ordinate, dalla direzione dei lavori, indagini termografiche, stratigrafiche o strutturali. In qualsiasi caso, analisi di questo tipo saranno condotte presso laboratori ufficiali o autorizzati e i risultati verranno comprovati da una certificazione.

Parte III Modalità di esecuzione degli elaborati (artt. 20-33).

Per quanto riguarda i criteri generali, i materiali di supporto, il formato degli elaborati grafici, la descrizione degli elaborati, il rapporto di riduzione, le piante, le sezioni, i prospetti, le assonometrie, si rimanda a quanto illustrato negli appositi capitoli del presente volume.

Il colore. Per documentare i valori cromatici dell'edificio da rilevare, le rappresentazioni dovranno essere eseguite con colori uniformi[20].

Elaborati. Tipi e natura dei disegni. Il capitolato deve prevedere i seguenti elaborati: relazione tecnica sui criteri, sui metodi e sulle procedure delle operazioni di rilevamento effettuate; documentazione fotografica (fotogrammi originali delle riprese metriche e non metriche, copia a contatto di tutti i fotogrammi, con scheda e grafico di riferimento); grafici del rilievo di base (stralcio planivolumetrico urbano 1:500 o 1:200, planivolumetrico dell'edificio o della parte in esame di esso 1:200; grafici relativi alla rete di inquadramento topografico, ai punti di appoggio fotogrammetrici e informatici, alle poligonali; eventuali piante ipogee 1:50; piante dell'edificio relative a tutti i piani calpestabili 1:50; prospetti esterni 1:50; sezioni-prospetto 1:50; repertorio delle cornici e delle modanature 1:10, 1:1, repertorio delle iscrizioni, dei bassorilievi ecc., delle documentazioni pittoriche, degli elementi lignei di arredo e decorazione); grafici di documentazione metrica (elaborati, su copie trasparenti, con indicazione delle

misure rilevate altimetricamente e planimetricamente); grafici ed elaborati di rilievo tematico per la documentazione dei rivestimenti (piante di tutti i livelli, prospetti e sezioni-prospetto 1:50), per la documentazione strutturale (piante dei vari livelli con elementi portanti e delle coperture – interno ed esterno – con tipologie delle strutture, prospetti esterni, sezioni-prospetto, repertorio delle forme geometriche degli elementi strutturali), per la redazione del quadro fessurativo (documentazione fotografica con grafico di riferimento, piante, prospetti ecc., come per la documentazione strutturale, più le dovute specificazioni), per la documentazione degli impianti e dei servizi tecnologici (stralcio planimetrico urbano 1:200, con indicazione dei pubblici servizi)[21].

Elaborati fotografici. Di ogni immagine fotografica si dovrà presentare il negativo in bianco e nero, un'immagine a colori e una copia a contatto su carta (tranne che nel caso di foto metrica; il formato non dovrà superare i 6 x 9 cm).

Per ogni immagine, contrassegnata da un numero, andrà indicata, su un grafico a scala ridotta, la posizione del punto di ripresa. Ogni fotografia sarà accompagnata da una scheda esplicativa di tipo diverso, a seconda che si tratti di fotografia metrica o non metrica[22].

Riproduzioni. Le riproduzioni di disegni storici, stampe, mappe ecc. andranno presentate in formato non minore di 13 x 18, dovranno riportare la scala di riduzione, rispetto all'originale[23], e dovranno essere accompagnate da una scheda esplicativa.

CAPO III Indagine storica e iconografica

Parte I Materiale di documentazione (artt. 35-36).

Il materiale relativo alle indagini storiche ed iconografiche dovrà essere il più ricco possibile.

Indagine bibliografica ed archivistica. Questo tipo di indagine dovrà essere effettuata sia in ambito locale che nazionale, presso archivi e biblioteche statali, comunali, privati ecc.; ciascuna fase della ricerca andrà documentata, anche se infruttuosa.

Indagine iconografica. Il capitolato deve prevedere la collazione del materiale iconografico concernente il monumento, traendolo dalle seguenti fonti: carte territoriali (comprese quelle storiche) dell'Istituto Geografico Militare; mappe catastali dell'Ufficio tecnico erariale (comprese quelle storiche); aerofotogrammetrie reperibili presso uffici tecnici comunali o presso imprese esecutrici; fotomosaici ed altre rappresentazioni urbane; riproduzioni a colori della cartografia storica; rilevamenti storici; riproduzioni a stampa, acquerelli ecc.; pratiche edilizie, conservate presso gli archivi degli uffici urbanistici dei Comuni o presso le Prefetture.

Parte II Elaborati (artt. 37-40)

Bibliografia. La bibliografia dovrà essere la più ricca possibile, sia in merito al monumento che al suo intorno; andrà presentata in ordine cronologico e dovrà consentire l'identificazione di ogni testo; per quanto riguarda gli esemplari rari, andranno indicati anche il luogo di conservazione e la collocazione.

Relazione storica e cronologica del monumento. Il capitolato deve richiedere una relazione storica in cui sia esposta sinteticamente la storia del monumento, integrata da una cronologia, che permetta di ripercorrere i momenti storici salienti dell'edificio stesso.

Edizione di iscrizioni. Le eventuali trascrizioni delle epigrafi saranno riprodotte in «edizione diplomatica», cioè in forma chiara e leggibile, e corredate da un'immagine fotografica.

CAPO IV Disposizioni particolari riguardanti l'appalto e i modi di valutazione degli elaborati. Direzione dei lavori e collaudo finale (artt. 41-55).

Il capitolato deve indicare che l'appalto è soggetto alla stretta osservanza di tutte le condizioni stabilite nel *Capitolato generale per gli appalti delle opere pubbliche dipendenti dal ministero dei Lavori Pubblici*[24].

Sono parte integrante del contratto di appalto, oltre al capitolato, il capitolato generale, l'elenco dei prezzi elementari e unitari, alcuni documenti ordinativi, emessi dall'ente ap-

paltante e dalla direzione dei lavori, e un elenco degli elaborati finali richiesti.

Va prevista una cauzione definitiva, uguale ad 1/20 dell'importo netto di appalto. Il tempo utile per l'ultimazione dei lavori e per la consegna degli elaborati grafici è fissato per ogni fase del rilevamento.

La direzione dei lavori, che rappresenta l'ente appaltante, sovraintende alla corretta formulazione dei documenti tecnici e tecnico-economici. La stessa effettuerà un controllo qualitativo, che si riterrà positivamente superato, se dall'esame critico della documentazione presentata risulterà: l'utilizzo di strumentazioni adeguate; l'adozione di procedure operative e metodologiche rispondenti alle esigenze del rilevamento; che le misure prese siano in misura sovrabbondante rispetto alle esigenze di compensazione delle osservazioni; che gli scarti quadratici medi delle coordinate compensate dei vertici della rete di inquadramento e di raffittamento siano inferiori ai valori prescritti; che gli errori di posizione dei punti di appoggio, misurati direttamente, non superino le tolleranze prescritte[25].

Note

[1] Cfr. *Capitolato speciale di appalto per il rilevamento architettonico a fini di restauro*, ricerca del Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo, Università degli Studi di Roma «La Sapienza», Roma 1990.

Per la prima volta si è affrontato in maniera organica e generale il complesso discorso della necessità del progetto di rilevamento e di una prima normativa riguardante quantità, qualità e controllo degli elaborati. È risaputo che ancora oggi, a volte, si interviene su un'opera di grande pregio architettonico (ma molti princìpi dovrebbero valere anche per la cosiddetta «architettura minore» del passato), senza un'adeguata documentazione grafica che ne testimoni lo stato di conservazione, le caratteristiche architettoniche e costruttive, le peculiarità dei materiali ecc., pregiudicando non solo la progettazione degli interventi da effettuare, ma spesso l'opera stessa.

[2] *Regolamento per la direzione, contabilità e collaudo dei lavori dello Stato che sono nelle attribuzioni del ministero dei Lavori Pubblici* (regio decreto del 25 maggio 1895, n. 350); *Regolamento per l'amministrazione per la contabilità generale dello Stato* (regio decreto del 23 maggio 1924, n. 827); *Capitolato speciale d'appalto per le opere di competenza del ministero dei Lavori Pubblici* (decreto del presidente della Repubblica del 16 luglio 1962, n. 1063).

[3] L'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione ha elaborato tutta una serie di norme che, sotto forma di schede, vanno dall'unità territoriale al singolo bene artistico mobile; cfr. *infra*, cap. XIII.

[4] Cfr. *Consigli e suggerimenti per l'ottimizzazione dei rilievi fotogrammetrici d'architettura*, emanato dal CIPA (Comité International de Photogrammétrie Architecturale) dell'ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), organismo dell'UNESCO.

[5] UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione), ISO (International Organization for Standardization); cfr. *supra*, cap. XI.

[6] È ancora oggi raro che un progetto di restauro architettonico venga preceduto da indagini condotte sistematicamente, anche quando tali opere vengano effettuate da uffici statali che abbiano specifica competenza nella conservazione del patrimonio edilizio demaniale. Solo alcune Soprintendenze per i Beni Ambientali e Architettonici promuovono attività di rilievo, anche se ancora circoscritte alla sola compilazione delle schede dell'ICCD.

[7] Il terzo criterio di redazione deriva dal considerare il rilevamento architettonico alla stregua di un qualunque rilevamento cartografico.

[8] A questo proposito, cfr. *supra*, capp. I, II. In sostanza, come riferimento medio di precisione, per le scale medie e piccole, si può tener presente l'incertezza relativa all'errore di graficismo, mentre, per quelle grandi e grandissime, l'ambito medio di precisione va stabilito in base alla scala e alla finalità, come si è già detto.

[9] L'utilizzazione di rilevamenti termografici e di altro tipo dovrà essere definita di volta in volta.

[10] Su questo aspetto, cfr. *supra*, cap. XI.

[11] La questione, molto delicata, è dibattuta in questi anni a livello nazionale ed internazionale. Per maggiori informazioni, cfr. il capitolato in oggetto, al punto 7, cap. I, tomo I.

[12] Particolari accorgimenti saranno messi in opera per il rilevamento di dettaglio.

[13] Per ogni stazione di rilevamento verrà redatta una scheda con le indicazioni tecniche riguardanti lo strumento utilizzato, e per ciascun punto collimato, gli angoli zenit, azimut ecc.

[14] Questi grafici potranno essere eseguiti manualmente o mediante plotter.

[15] I punti di appoggio saranno uniformemente distribuiti e facilmente collimabili e verranno documentati nello stesso modo seguito per i punti di appoggio della rete di inquadramento.

[16] Quando sia necessario operare con assi di ripresa inclinati, rispetto al piano principale dell'edificio, non si dovranno superare i 25° centesimali, rispetto alla direzione normale.

[17] Solo in casi particolari si potrà ridurre il numero dei punti di appoggio a 4. Nel caso di riprese ad asse inclinato, il numero dovrà, invece, aumentare.

[18] Il plotter dovrà essere preferibilmente a tavolo piano e si utilizzeranno dei supporti indeformabili per i grafici originali.

[19] Nel caso di eventuali zone d'ombra fotografiche, si ovvierà operando con il rilevamento diretto e garantendo, in ogni caso, la precisione complessiva.

[20] Per ogni colore dovrà esser possibile ricomporre le tre caratteristiche fondamentali: tinta, luminosità e saturazione.

[21] Lo stralcio sarà corredato da sezioni schematiche e da profili che indichino la profondità delle reti e la posizione dei punti di allaccio.

[22] Potrà essere prevista l'effettuazione di immagini magnetiche od olografiche.

[23] Nella fotografia sarà riportato un riferimento metrico.

[24] Decreto del presidente della Repubblica del 16 luglio 1962, n. 1063, aggiornato con le disposizioni di cui alla legge del 10 dicembre 1981, n. 741.

[25] Le stesse operazioni, o solo alcune di esse, verranno effettuate dalla direzione dei lavori per eseguire eventuali collaudi in corso d'opera.

Capitolo tredicesimo

Documentazione e catalogazione

Aspetti generali

La pratica del censimento e della catalogazione dei beni culturali e ambientali è oggi intesa come uno strumento conoscitivo di base, i cui compiti principali consistono nell'individuare e rilevare gli oggetti che rispondano al requisito di «bene culturale», nel fornire dati scientificamente validi sul contesto storico-ambientale ad essi relativo e, soprattutto, nell'offrire un ausilio all'attività di conservazione, valorizzazione e gestione amministrativa dei beni stessi[1].

Poiché inoltre i beni culturali e ambientali sono oggetto di pubblico interesse, si impone, per essi, non solo un'attività amministrativa di ricognizione dei manufatti di rilevante interesse, ma anche un'operazione di tutela a loro riguardo[2].

Il catalogo si configura, quindi, come servizio permanente di ricerca, di incremento e di predisposizione di un apparato informativo dedicato all'utilizzazione della schedatura prodotta e all'opportuna diffusione dei risultati conseguiti; suo obiettivo finale, il rilevamento e la documentazione del patrimonio dei beni culturali e ambientali del paese e la messa a punto di un quadro organico e completo della loro presenza e distribuzione sul territorio.

Il censimento è previsto e avviene attraverso la compilazione di schede informatiche appositamente predisposte dall'ICCD, schede che costituiscono, esse stesse, uno stadio della ricerca e che sono, quindi, suscettibili di aggiornamento, integrazione e completamento.

Fin dall'aprile del 1990, il ministero dei Beni Culturali e Ambientali[3] ha avviato un *Piano organico di inventariazione, catalogazione ed elaborazione della carta del rischio dei Beni Culturali*[4], finalizzato sia a una schedatura rapida dei beni culturali, basata su criteri uniformi, sia all'elaborazione di una documentazione sulla situazione di rischio del patrimonio culturale, con relativa bancadati, sia al potenziamento dell'attività di ricerca.

Successivamente, con il decreto ministeriale del 9 luglio 1990 sono stati specificati gli intenti e le norme per l'applicazione del *Piano*[5], nel quale si parla di «precatalogazione», cioè di «ricognizione rapida» per il censimento di qualsiasi bene culturale, censimento destinato a fornire, in tempi relativamente ristretti, due tipi di informazioni: uno, contenente i dati ritenuti indispensabili per la precatalogazione; l'altro, riportante i dati utili per una catalogazione approfondita, da svolgere anche in tempi successivi[6].

I primi interventi hanno interessato i beni mobili, che sono quelli soggetti a maggiore rischio di manomissioni e furti, ma il programma prevedeva una rapida estensione anche agli edifici monumentali, ai centri storici e alle aree archeologiche.

L'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) è uno dei quattro istituti centrali del ministero per i Beni e le Attività Culturali[7], creato con decreto nel dicembre 1975 con il compito di sovrintendere e unificare tutto il procedimento conoscitivo per la creazione di un archivio generale del patrimonio culturale italiano, nonché di definire le modalità di fruizione di tutti i dati così acquisiti. All'ICCD competono i beni archeologici, storico-artistici, demoantropologici, ambientali e architettonici[8]. Dalla metà degl'anni '90 del secolo scorso, l'ICCD ha effettuato una profonda revisione delle proprie modalità di catalogazione, iniziando un processo di digitalizzazione del suo patrimonio informativo onde pervenire ad una «standardizzazione e ad un affina-

mento dei dati», ad una «maggiore integrazione tra i dati», alla «possibilità di integrazione e interazione tra dati alfanumerici, fotografici e cartografici» e, infine, alla «possibilità di aprirsi verso l'esterno tramite web»[9].

L'intero sistema di archiviazione e gestione dei dati si basa sulla tecnologia Oracle, che si avvale dei prodotti e servizi Oracle Database, Oracle Visual Image Retrieval, Oracle ConText Opcion Cartridge e Oracle Spatial Database Engine, i cui principali vantaggi sono la scalabilità, l'affidabilità e l'interazione tra dati alfanumerici, fotografici e cartografici. Le ricerche, infatti, grazie a questo sistema informatico, possono essere effettuate attraverso comparazioni sia di testo che di immagini.

Negli ultimi anni l'ICCD ha messo a punto un sistema scalabile come nodo primario dei dati catalogati (SIGEC)[10], in grado di fornire un supporto per tutte le fasi di catalogazione (dalla produzione di dati sul territorio alla verifica e alla validazione finale), già in uso presso l'amministrazione centrale e periferica. Attualmente la fase evoluta del Sigec, denominata e-Sigec, consente al grande pubblico di accedere ai vari contenuti del sistema informativo stesso.

La catalogazione dei beni architettonici

Il concetto di monumento, di cui si è cominciato a parlare fin dal 1897, quando fu istituita, per volontà di Corrado Ricci, la prima «speciale» Soprintendenza ai monumenti di Ravenna, si è andato evolvendo per tutto il secolo scorso, pervenendo oggi alla nozione di «bene architettonico», che riconosce importanti valori anche alla cosiddetta «architettura minore», grazie alle relazioni che si instaurano tra edifici storici e tra edilizia del passato e monumenti. Fra i molti passaggi, nazionali ed internazionali, che hanno contribuito a questo lungo processo di definizione sono da ricordare almeno la *Convenzione di Granada* (1985)[11], il *Codice dei beni culturali e del paesaggio*[12] (2004) e la sua successiva riforma (2008)[13]. La prima, firmata dagli Stati membri del Consiglio d'Europa, stabilisce che l'espressione «patrimonio architettonico» include tanto i monumenti, quanto i contesti architettonici[14] e i siti[15] di interesse storico, artistico, ambientale ecc. Il secondo, a sua volta, specifica all'art. 2 la dizione «patrimonio culturale», nella quale rientrano sia beni immobili, sia mobili e paesaggistici[16], mentre all'art. 10 (commi 1-4) vengono indicati i vari tipi di beni culturali, anche in base al decreto legislativo di riforma del *Codice dei beni culturali e paesaggistici*, del 2008[17]. In sostanza, si evince che il concetto di bene culturale da tutelare e da valorizzare, per quanto attiene all'architettura, non è più ristretto al «monumento», ma abbraccia un numero di edifici molto più ampio, che include i centri storici, le piazze, le vie ed altri spazi pubblici di interesse artistico o storico e anche architetture e agglomerati rurali di valore storico o etnoantropologico. È facile constatare che tutto questo ha richiesto, da parte dell'ICCD, una nuova organizzazione di tutto il processo di catalogazione, di acquisizione e di gestione informatica del processo stesso, organizzazione messa a punto dai Servizi tecnici dello stesso ICCD secondo quattro settori operativi: 1) quello della «ricerca», utile per l'acquisizione di una corretta metodologia cartografica, per la definizione di tracciati di catalogazione in funzione delle varie discipline, per la normalizzazione terminologica ecc.; 2) quello di «indirizzo», finalizzato alla predisposizione di linee guida per la programmazione delle attività di catalogazione e documentazione, per l'edizione e diffusione di testi inerenti l'attività dell'ICCD, per la verifica e il monitoraggio delle informazioni acquisite; 3) quello di «coordinamento tecnico», predisposto per il controllo dei dati quantitativi e la gestione della numerazione univoca di identificazione dei beni catalogati, per la definizione delle strategie di intervento territoriale e per la predisposizione di banche di servizio ecc.; 4) infine, quello della «didattica e alta formazione», per la elaborazione di percorsi didattici e formativi, per la definizione di piani d'insegnamento, anche con sussidi multimediali e di e-learning ecc.

Il complesso normativo dell'ICCD per la catalogazionre dei beni culturali comprende le «schede di catalogo», gli «authority file» e le «schede per le entità multimediali». Le prime, di diverso tipo, in relazione alle differenti tipologie di beni, «sono modelli descrittivi che raccolgono in modo organizzato le informazioni sui beni, secondo un 'percorso' conoscitivo che guida il catalogatore ed al tempo stesso controlla e codifica l'acquisizione dei dati secondo precisi criteri»[18].

Gli authority file «sono, invece, archivi controllati che ri-

guardano 'entità' (come gli autori, la bibliografia) in relazione con i beni culturali», mentre le entità multimediali «sono modelli per la descrizione e la gestione delle informazioni che riguardano i diversi tipi di documenti (fotografie, disegni tecnici, audio, video, fonti archivistice ecc.) che corredano le schede di catalogo, per completare ed arricchire le conoscenze sui beni culturali»[19].

Le schede di catalogo

Il processo di informatizzazione digitale dei dati archeologici, dei beni ambientali ed architettonici, di quelli etnoantropologici, storici e artistici ha comportato una modificazione delle varie schede già predisposte dall'ICCD[20]. Ogni scheda informatica si compone della struttura dei dati (tracciato) e delle norme di compilazione, ove sono specificate le modalità per redigere le varie voci (vocabolari e liste di valori, «chiusi» o «aperti»), predisposte «in relazione ai diversi settori disciplinari o alle singole, specifiche schede di catalogo. Il settore dei beni archeologici, suddiviso in beni mobili e beni immobili, prevede per i primi, le schede NU (beni numismatici), RA (reperto archeologico), TMA (tabella materiali) e per i secondi, le schede SI (sito archeologico), SAS (saggio stratigrafico) e MA/CA (monumento o complesso archeologico). Il settore dei beni ambientali ed architettonici si avvale della scheda A (architettura) e di quella PG (parchi e giardini), mentre quello dei beni etnoantropologici contiene le schede BDM (beni demoetnoantropologici materiali) e BDI (beni demoantropologici immateriali). Infine, il settore dei beni storici e artistici presenta ben quindici tipi di schede, tra cui la OA (opera e oggetto d'arte), la D (disegno), la S (stampa), la F (fotografia) ecc. [21]

La scheda A (architettura)

La scheda A (architettura)[22], redatta a cura del Servizio beni architettonici, è strutturata in settori principali, a loro volta suddivisi in ambiti di approfondimento. I primi comprendono i codici (CD)[23], la localizzazione (LC), l'oggetto (OG), la gerarchia (RV), i riferimenti geo-topografici (CR), l'ubicazione (UB), la definizione culturale (AU), le notizie storiche (RE), gli spazi (SI), l'impianto strutturale (IS), la pianta (PN), le fondazioni (FN), le strutture verticali (SU), le strutture di orizzontamento (SO), le coperture (CP), le scale (SC), i pavimenti e pavimentazioni (PV), gli elementi decorativi (DE), le iscrizioni, lapidi, stemmi (IS), la conservazione (CO), i restauri (RS), le utilizzazioni (US), la condizione giuridica e vincoli (TV), gli allegati (AL), le fonti e documenti di riferimento (DO), il riferimento altre schede (SK), la compilazione (CM) e le annotazioni (AN). Per poter essere inserita nel *Catalogo generale del patrimonio culturale*, la scheda deve essere compilata almeno nei «campi», evidenziati in colore giallo, denominati di obbligatorietà assoluta. Essi, infatti, costituiscono l'insieme minimo di informazioni che la scheda deve riportare per poter essere ritenuta valida.

Esemplificazione di compilazione della scheda SU (settore urbano) dell'ICCD

Il metodo di scheda SU (settore urbano)[24], approntato dall'ICCD, è finalizzato all'approfondimento della conoscenza dei centri storici, attuata mediante la compilazione dei modelli delle schede CS (centro storico), ancora in preparazione da parte dell'istituto citato.

La scheda SU è relativa a un settore urbano minimo, isolato o insieme edilizio, delimitato da due o più strade. Ogni settore urbano analizzato deve fare riferimento al quadro d'unione, relativo al centro storico o ad un qualunque nucleo abitato oggetto di studio; quadro d'unione nel quale ogni isolato va contrassegnato da un numero (indipendentemente dalle qualità ambientali e architettoniche), apposto per comodità puramente funzionale.

La SU è formata dalla scheda vera e propria, che considera l'isolato nel suo insieme, e da due inserti, che analizzano le varie particelle (edificate o libere) che lo compongono, sia secondo le vicende storiche, la proprietà, le destinazioni d'uso (repertorio indagine storica), sia secondo la tipologia, le fasi di sviluppo e le tecniche costruttive (repertorio stato attuale). La scheda SU già compilata nel testo a titolo d'esempio viene ad essere, quindi, per certi aspetti, un elabora-

SU	N CATALOGO GENERALE	N CATALOGO INTERNAZIONALE	MINISTERO PER I BENI CULTURALI E AMBIENTALI ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE		REGIONE	N
CODICI		ITA	SOPRINTENDENZA PER I BENI AMBIENTALI ED ARCHITETTONICI	49	LAZIO	12

PROVINCIA E COMUNE
ROMA - ROMA

RIONE (quartiere sestiere ecc.)
Rione XIII Trastevere

RIFERIMENTI TOPOGRAFICI (coordinate)

VIE DI DELIMITAZIONE
Vicolo del Cinque
Via del Moro
Vicolo de'Renzi
Via del Cipresso

CATASTO F.o n. 497 Part. nn. 157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-688-689-690

CRONOLOGIA
IV?; X- XV; XVI; XVII; XVIII (post 1860)

VINCOLI

DESCRIZIONE STATO ATTUALE

A) CORRELAZIONI URBANISTICHE
(funzionali viarie ecc.)

Settore urbano di forma rettangolare in piano; inserito nel tipico tessuto viario tardo medioevale che è delimitato dal nodo di piazza Trilussa a nord, da via del Moro ad est, da via della Lungaretta e da piazza S. Maria in Trastevere a sud, dal vicolo del Bologna e da piazza S. Egidio ad ovest.

(vedi allegati nn)

B) INDIVIDUAZIONE DEI TIPI EDILIZI ED ANALISI DELLA LORO DISTRIBUZIONE

Vicolo del Cinque: 4 case a schiera con pertinenze, edificio rinascimentale con pertinenze (angolo via del Moro);
Via del Moro: 6 case a schiera con pertinenze, casa-torre, edificio barocco (angolo via de'Renzi);
Via de'Renzi: edificio barocco con pertinenze (angolo via del Cipresso);
Via del Cipresso: 2 edifici ottocenteschi con pertinenze, casa a schiera con pertinenze.

(vedi allegati nn)

ALLEGATI

STRALCIO DI PARTE DEL CENTRO STORICO
all. n. 1

MAPPA CATASTALE
all. n. 2 - 3

PLANIMETRIE RISULTANTI DALL ASSEMBLAGGIO DELLE PIANTE AD UNA O PIU QUOTE DELLE SINGOLE PARTICELLE (con indicazione delle fasi storiche)
all. n. 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10

PROFILI (sviluppo dei prospetti ed eventuali sezioni con indicazione delle fasi storiche)
all. n. 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16

FOTOGRAFIE DI PIANTE STORICHE (vecchi catasti piante allegate ad atti notarili ecc.)
all. n. 17 - 18

FOTOGRAFIE AEREE (zenitali e prospettiche)
all. n. 19

FOTOGRAFIE
all. n. 20 - 21 - 22 - 23 - 24 - 25

DOCUMENTI VARI
all. n. 26 - 27 - 28

REPERTORIO RELATIVO A N° 18 UNITA EDILIZIE
STATO ATTUALE all. n. 29 - 30 - 31 - 32
INDAGINE STORICA all. n. 33 - 34 - 35 - 36

data
24 - 10 - 1983

compilatori della scheda

REVISIONE E AGGIORNAMENTI

RIFERIMENTO ALTRE SCHEDE
(relative al territorio CSU CA etc.)

VISTO DEL SOPRINTENDENTE

Fig. 1. Scheda SU, facciate esterna (*in questa pagina*) e interna (*nella pagina a fronte*) compilate. Settore preso in esame: isolato del rione Trastevere in Roma. Compilazione scheda M. Cigola.

VICENDE STORICO CRITICHE E COSTRUTTIVE

A) ETIMOLOGIA DELLA TOPONOMASTICA

Palazzo del Cinque (part. n. 157 - 158); dal nome della famiglia Cinque deriva anche il nome del "Vicolo del Cinque".

B) IMPIANTO URBANISTICO ORIGINARIO E VARIAZIONI SUCCESSIVE
(capisaldi viari principali tracciati scomparsi o distrutti ecc.)

X - XV. Urbanizzazione dell'intera zona a seguito di un adattamento di epoca medioevale della viabilità pianificata di epoca classica, e a seguito della creazione di una maglia viaria spontanea.
XVI. Si costruisce il Palazzo del Cinque; la via del Moro acquista il suo assetto definitivo lungo il margine est.
XVII - XVIII. Incremento edilizio dell'intero quartiere.
XIX. Si arriva alla saturazione delle aree libere sui fronti stradali, si accorpano più particelle.
XX. Notevole attività di trasformazione ed intasamento delle aree interne all'isolato. I piani regolatori, dal 1909 in poi, propongono di intervenire con sventramenti sul tessuto urbano del settore.

C) LOTTIZZAZIONE DI IMPIANTO TIPOLOGIE ORIGINARIE E LORO MODIFICHE SUCCESSIVE
(ampliamenti in profondità accorpamenti in unità contigue ristrutturazioni con trasformazioni tipologiche modifiche di spazi interni ecc.)

X - XV. L'impianto tardo medioevale del settore è denotato dal fronte stradale stretto delle case, dalle variazioni in altezza, dal riuso di materiali ed elementi di epoche precedenti.
XVI. Alcune unità edilizie prospicenti vicolo del Cinque e via del Moro vengono accorpate per costruire il Palazzo del Cinque.
XVII - XVIII. L'impianto dell'isolato è definito quasi completamente.
XIX. Si eseguono ristrutturazioni interne, con ampliamenti in profondità entro le aree interne, rifusioni di facciate conseguenti all'unione di due o tre particelle catastali, con o senza sopraelevazioni. Su via del Cipresso esistono ancora lotti non costruiti.
XX. L'impianto dell'isolato è esattamente configurato e definito. La situazione interna del lotto è compromessa a causa delle trasformazioni eseguite con materiali precari, forme disparate ed in maniera disordinata.

D) CORRELAZIONI URBANISTICHE
(rapporti con gli spazi urbani contigui con le architetture degli isolati prospicienti e con fatti urbani emergenti),

L'edilizia dell'intero quartiere conserva i caratteri medioevali; serie di case a schiera di tipico modulo stretto e molto profondo, con al piano terra una bottega e una scala per condurre ai due o tre piani superiori. Gli edifici rinascimentali, barocchi e ottocenteschi del settore non hanno modificato lo schema particellare tardo medioevale, ma si sono inseriti in esso.

RIFERIMENTO ALLE FONTI DOCUMENTARIE

ARCHIVI

A. S. R. : Archivio di Stato di Roma;
Catasto Gregoriano, tav. III
A. C. : Archivio Capitolino; Fondo 54

ICONOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

G. DE ANGELIS D'OSSAT, L'architettura in Roma negli ultimi tre decenni del sec. XIX, Roma, 1942, estr. Annuario della R. Insigne Accademia di S. Luca, N. 6
S. MURATORI, S. BOLLATI, G. MARINUCCI, Studi per una operante storia urbana di Roma, Roma, 1963
P. VACCARO, Tessuto e tipo edilizio a Roma dalla fine del XVI secolo alla fine del XVIII secolo, Roma 1968
G. SPAGNESI, Edilizia romana nella seconda metà del XIX secolo (1848-1905), Roma, 1974
L. GIGLI, Rione XIII Trastevere, parte II, Roma, 1980
G. CANIGGIA, Strutture dello spazio antropico, Firenze 1981
D.MAESTRI, Per una lettura delle strutture medioevali e rinascimentali nell'ambito della città, Roma 1984 "Archaeologia mea"

FOTOGRAFIE

Gabinetto delle Stampe - Palazzo Braschi, Roma
Gabinetto Fotografico Nazionale e Aerofototeca dell'I. C. C. D.

SU	N CATALOGO GENERALE	N CATALOGO INTERNAZIONALE	MINISTERO PER I BENI CULTURALI E AMBIENTALI UFFICIO CENTRALE PER I BENI A A A A S ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE		REGIONE	N
CODICI		ITA:	SOPRINTENDENZA PER I BENI AMBIENTALI ED ARCHITETTONICI	49	LAZIO	12

ALLEGATO N 33

PROVINCIA E COMUNE ROMA - ROMA

REPERTORIO DELLE UNITA EDILIZIE DELL ISOLATO COMPRESO TRA ~~VIA~~ vicolo del Cinque-via del Moro- vicolo de'Renzi-via del Cipresso

CATASTO F n 497 (1978) part. n. 157 - 159 - 160

INDAGINE STORICA; vicolo del Cinque

PARTIC	EPOCA	VICENDE STORICHE	PROPRIETA	DESTINAZIONI	FONTI		RIFERIMENTO ALTRE SCHEDE
					DOCUMENTI	DATI INDIVIDUATIVI	
157 n.c. 31a-32-33	XVI	Costruzione		Abitazione			
159 n.c. 34-35	X-XV XIX	Costruzione Accorpamento delle due particelle e rifusione in unica facciata		Abit.-Negozi			
160 n.c. 36-37 38-39	X-XV XIX	Costruzione Accorpamento delle due particelle e rifusione in unica facciata		Abit.-Negozi			

Fig. 2. Compilazione dell'allegato alla scheda SU «Indagine storica», relativo a una delle strade che delimitano il settore in esame (*in questa pagina*); compilazione dell'allegato alla scheda SU «Stato attuale», relativo a una delle strade che delimitano il settore studiato (*nella pagina a fronte*). Nell'allegato sono riportati i dati storici, ma non le proprietà degli immobili.

to di sintesi dei due repertori o inserti: «Stato attuale» e «Indagine storica».

Nella facciata della scheda SU compaiono, a sinistra, le fincature relative ai dati oggettivi del settore (provincia e comune, rione, vie di delimitazione planimetrica ecc.); a destra, la descrizione generale, suddivisa in tre parti, che analizza le correlazioni urbanistiche e quelle ambientali con gli altri settori e spazi contigui, nonché i vari tipi edilizi individuati, la loro distribuzione ecc. Nei lati interni della scheda trovano posto le fincature per l'analisi sintetica delle vicende storico-critiche e costruttive, in relazione alla toponomastica, alle modificazioni dell'impianto urbano, considerato nella sua totalità, e alle trasformazioni verificatesi nell'ambito dell'isolato stesso (impianto e tipologie originari, loro modifiche successive), e il riferimento alle fonti documentarie (archivi, iconografia, bibliografia) (fig. 1). Infine, il retro della scheda riguarda i dati relativi alla documentazione allegata (stralcio di parte del centro storico, mappa catastale, planimetria, prospetti, fotografie di piante e mappe antiche, fotografie aeree ecc.), oltre ad una fincatura che riporta la data, i nomi dei compilatori, le revisioni ecc. (fig. 2).

Va osservato che, nella scelta del numero dei grafici da allegare alla scheda SU, l'ICCD consiglia di tener presente la disponibilità del materiale grafico, esistente per tutti gli isolati del nucleo abitato, e di inserire nella scheda stessa solo quei grafici che, in breve tempo, possano essere reperiti, ma

SU	N CATALOGO GENERALE	N CATALOGO INTERNAZIONALE	MINISTERO PER I BENI CULTURALI E AMBIENTALI UFFICIO CENTRALE PER I BENI A A A A S ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE		REGIONE	N
CODICI		ITA	SOPRINTENDENZA PER I BENI AMBIENTALI ED ARCHITETTONICI	49	LAZIO	12

ALLEGATO N 29

PROVINCIA E COMUNE ROMA - ROMA

REPERTORIO DELLE UNITA EDILIZIE DELL ISOLATO COMPRESO TRA vicolo del Cinque-via del Moro- vicolo de'Renzi-via del Cipresso

CATASTO F n 497 (1978) part. 157 - 159 - 160

STATO ATTUALE ; vicolo del Cinque

PARTIC	TIPOLOGIA	FASI DI SVILUPPO	TECNICHE COSTRUTTIVE	ELEMENTI DI SPECIFICO INTERESSE	DESTINAZIONI D USO	PROPR	STATO DI CONSERVAZIONE: STRUTTURE SOTTERRANEE	STRUTTURE VERTICALI	STRUTTURE ORIZZONTALI	COPERTURE	PARAMENTI
157 n.c. 31a- 32-33	PALAZZO DEL CINQUE, edificio a blocco con androne e scale in angolo	Facciata rinascimentale	1);non accertabile 2); muratura 3); solai in legno 4); tetto a 2 falde, manto in coppi e embrici 5); pietra e intonaco		Abitazioni Negozi						
159 n.c. 34-35	2 CASE a schiera con cortile e scala longitudinale in esso		1); non accertabile 2); muratura 3); solai in legno 4); copetura a terraz za, manto in piastrellato 5); intonaco		Abitazioni Negozi						
160 n.c. 36-37 38-39	2 CASE a schiera		1); non accertabile 2); muratura 3); solai in legno 4); tetto a 2 falde, manto in coppi e embrici 5); intonaco		Abitazioni Negozi						

in modo da non presentare isolati con troppa documentazione grafica e altri con cartografia scarsa. Dall'esposizione dei dati significativi inerenti la scheda descritta, approntata dall'ICCD, si deduce con chiarezza che trattasi di una catalogazione basata su descrizioni e su elementi grafici, quali mappe catastali, semplici planimetrie e profili, insufficienti a rappresentare la complessa realtà urbana (fig. 3).

Tuttavia, prima di passare alla descrizione dei grafici integrativi, che appaiono utili per raggiungere una buona conoscenza di un centro abitato, occorre fare qualche osserva-

Fig. 3. Planimetria di parte del centro storico di Roma relativa alla zona compresa tra il Tevere e le falde del Granicolo, rapporto 1:5000. Grafico di restituzione da fotografia aerea.

Fig. 4. Quadro d'unione dei settori urbani individuati nell'ambito del rione Trastevere in Roma, particolare, rapporto 1:2000 (nell'originale).

Fig. 5. Roma, rione Trastevere. Fotografia aerea della zona compresa tra il ponte Sisto e la piazza di Santa Maria in Trastevere. L'immagine mostra molto chiaramente la tessitura viaria tardo-medievale, racchiusa tra via della Scala e il Lungotevere, sistemato a muraglioni nell'ultimo quarto del secolo XIX (fotografia aerea S. Nistri, fotogramma 4414, aerofotografia n. 10670, concessione alla divulgazione dell'8 aprile 1969, n. 183).

Fig. 6 (*a fronte*). Stralcio del foglio n. 497, Sezione A, del Catasto urbano del Comune di Roma, rappresentante gli isolati tardo-medievali posti tra piazza di Ponte Sisto e via della Pelliccia, rapporto 1:1000. La tessitura particellare di tipo tardo-medievale compare principalmente su via Benedetta e sporadicamente su vicolo del Bologna, su vicolo del Cinque e su via del Moro.

N
Piazza
S. Giovanni della Malva
Via
Ponte
Sisto
Piazza
Ponte Sisto
Via
Benedetta
Bologna
Vicolo
del
Bologna
Vicolo
del
Cinque
Via
del
Cipresso
Vic. De Renzi
Piazza
De Renzi
Via
Via
del
Via
delle
Pelliccia
Lung

Piazza S Giovanni della Malva
Via Ponte Sisto
Piazza Ponte Sisto
Ponte Sisto
Fiume Tevere
Lungotevere Raffaello
Via Benedetta
Vicolo del Bologna
Via del Cinque
Via del Politeama
Via del Moro
Vicolo del Cinque
Via del Cipresso
Vic. De Renzi
Piazza De Renzi
Via della Pelliccia
14,95
14,50
15,35
16,40
16,75
17,80
17,40
0
10
20
30

Fig. 7 (*a fronte*). Planimetria della zona inerente la scheda SU, elaborata in base alla simbologia di cui alla tabella della fig. XI.9. Rilevamento del 1983.

Fig. 8. Planimetria degli isolati compresi tra vicolo del Cinque, via del Moro e via della Pelliccia del rione Trastevere in Roma. L'individuazione del passo degli edifici e delle facciate di rifusione, ad esempio, evidenzia l'utilità di questi grafici per la conoscenza e lo studio dell'ambiente urbano. Rilevamento del 1983.

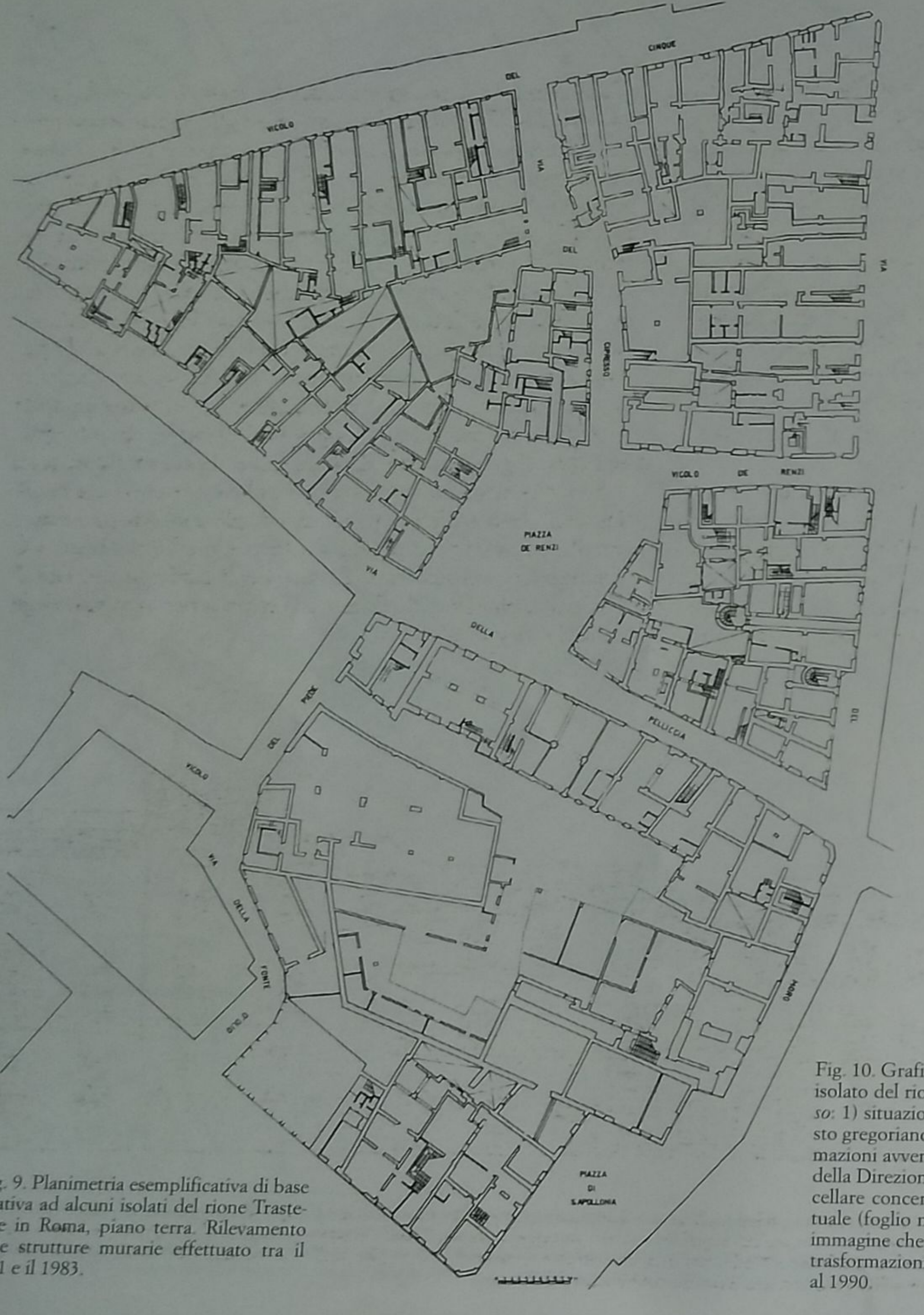


Fig. 9. Planimetria esemplificativa di base relativa ad alcuni isolati del rione Trastevere in Roma, piano terra. Rilevamento delle strutture murarie effettuato tra il 1981 e il 1983.

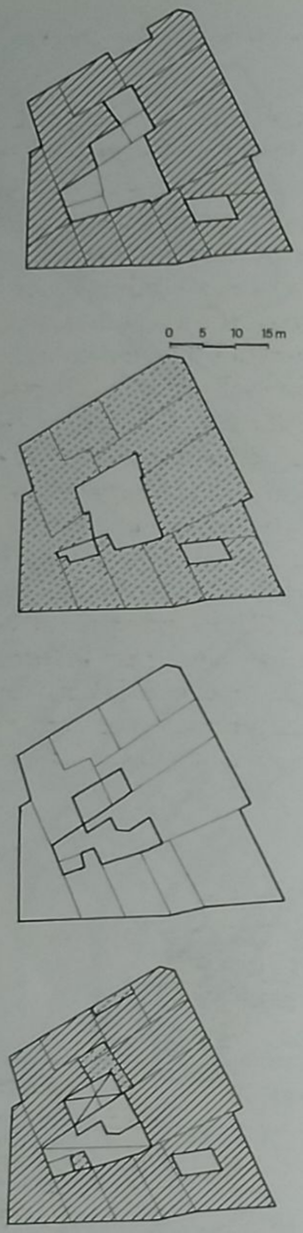


Fig. 10. Grafici di raffronto di alcuni catasti interessanti un isolato del rione Trastevere in Roma. *Dall'alto verso il basso*: 1) situazione particellare e cortiliva delineata nel Catasto gregoriano (ca. 1826); 2) esemplificazione delle trasformazioni avvenute successivamente e riportate nella mappa della Direzione generale del censo (1860); 3) schema particellare concernente la situazione riportata nel Catasto attuale (foglio n. 497, Sezione A, del Comune di Roma); 4) immagine che riporta le varie situazioni, per evidenziare le trasformazioni avvenute dai primi decenni del secolo XIX al 1990.

zione di non secondaria importanza. La suddivisione in isolati, con «funzione puramente strumentale»[25], sembra troppo semplicistica: spesso, infatti, nei centri antichi, un settore urbano è definito non da uno, ma da due o più isolati, omogenei per caratteri originari, elementi architettonici, tecnologie costruttive e vicende storiche (figg. 4, 6). Altri gruppi edilizi, che oggi si presentano come semplici isolati, in seguito ad aperture di strade o sventramenti, costituivano un tempo isolati unitari di più vaste dimensioni. La scheda, dunque, appare redatta ai fini di una conoscenza principalmente storico-filologica dell'insieme edilizio, mentre sembra dare scarsa importanza alla rappresentazione grafica e alla necessaria omogeneità, nel passare, per quanto riguarda gli elaborati richiesti, dalla scala 1:1000 a quella 1:200.

L'analisi del settore urbano, oltre alle voci riportate sulla scheda SU, va estesa anche ad altri caratteri e aspetti significativi di esso, quali la forma planimetrica degli isolati, la forma delle particelle catastali, la tessitura delle particelle edilizie rispetto agli assi stradali, l'andamento plano-altimetrico e le sezioni trasversali delle strade, ma, soprattutto, questi elementi vanno graficizzati. In analogia all'analisi planimetrica, si devono anche esaminare gli aspetti volumetrici, desunti da apposite sezioni e dagli schemi delle facciate prospettanti su strade e su cortili interni. Su una o più planimetrie di base, appositamente eseguite o ricavate rielaborando le mappe catastali, occorre riportare, inoltre, la quotatura altimetrica dei principali nodi viari, l'andamento planimetrico delle cortine murarie che si affacciano sulle strade e sulle aree interne, la suddivisione in settori urbani, omogenei, con apposita numerazione di riferimento, la perimetrazione delle emergenze architettoniche ecc. Per queste planimetrie (fig. 7), da realizzare soprattutto in scala 1:1000, viene proposta un'apposita simbologia. In altre planimetrie (fig. 8) più specifiche, invece, da elaborare in scala 1:500, è necessario riportare, tra l'altro, i numeri civici, gli ingressi degli edifici, i passi carrai, gli androni passanti, i cortili, il numero dei piani fuori terra e quello dei piani sottostrada delle costruzioni, il passo degli edifici, le facciate di rifusione, gli assi delle finestre, il coronamento in alto degli edifici e degli isolati ecc.

Fig. 11. Prospetto generale della cortina viaria di via del Moro, relativo all'isolato delimitato tra la via citata e i vicoli del Cinque, del Cipresso e de' Renzi, del rione Trastevere in Roma. Raffrontando il passo delle strutture murarie principali dell'isolato, riportato nella fig. 9, con i vari prospetti parziali del grafico in oggetto, è facile vedere che, per molti di essi, si tratta di facciate di rifusione. L'edificio d'angolo a sinistra, guardando l'immagine, edificato nel sec. XVIII, è accostato a uno degli ultimi edifici a torre del quartiere. L'edificio nell'angolo destro è il cosiddetto Palazzo del Cinque.

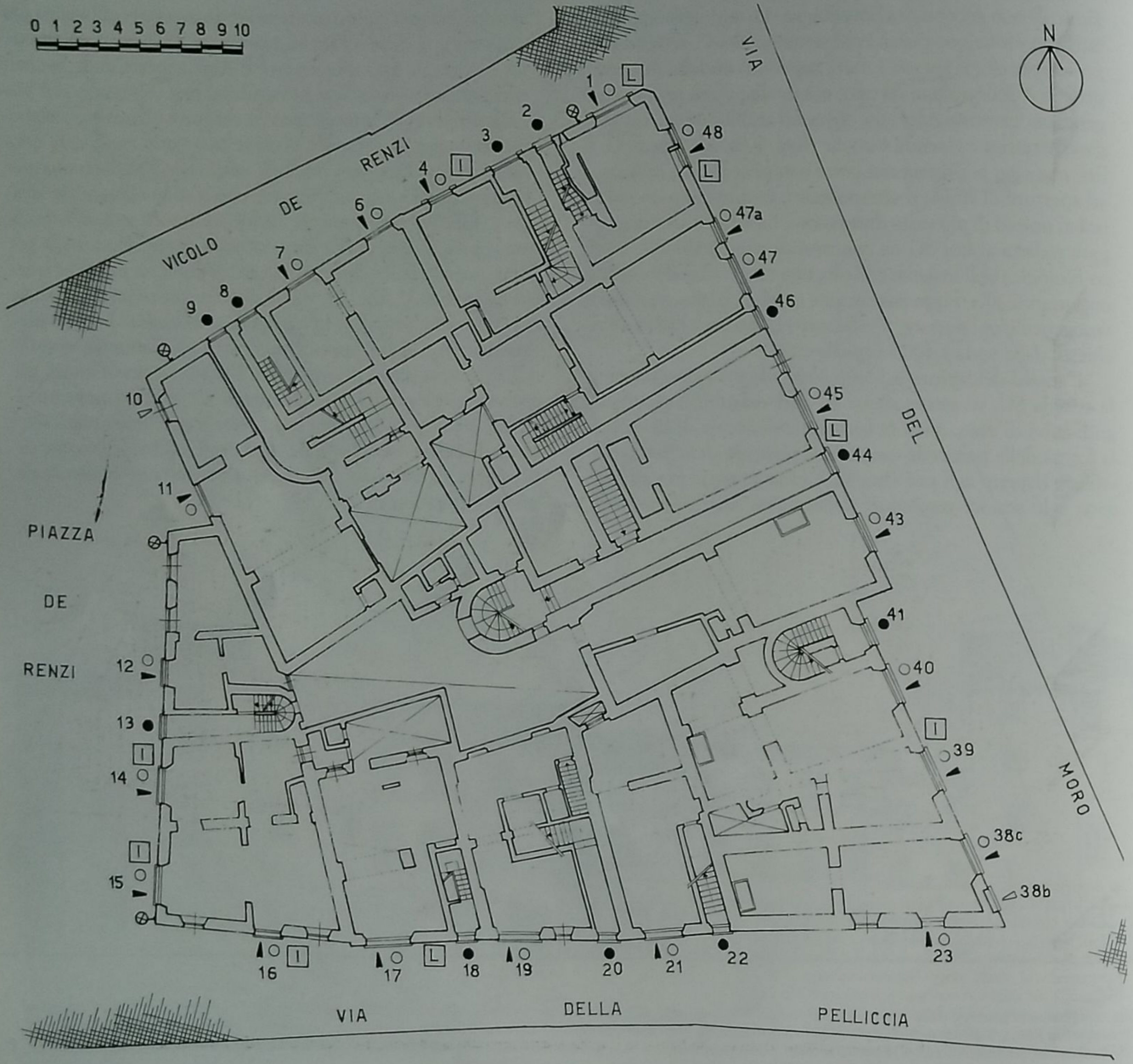

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
N
VIA DEL MORO
VICOLO DE RENZI
PIAZZA DE RENZI
VIA DELLA PELLICCIA
1
2
3
4
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
38b
38c
39
40
41
43
44
45
46
47
47a
48
L
I

Fig. 12 (*a fronte*). Planimetria di un isolato del rione Trastevere in Roma, sulla quale è stata riportata la simbologia di cui alla fig. XI.11. Rilevamento del 1983.

Fig. 13. Esemplificazione delle destinazioni d'uso di alcuni isolati del rione Trastevere in Roma.

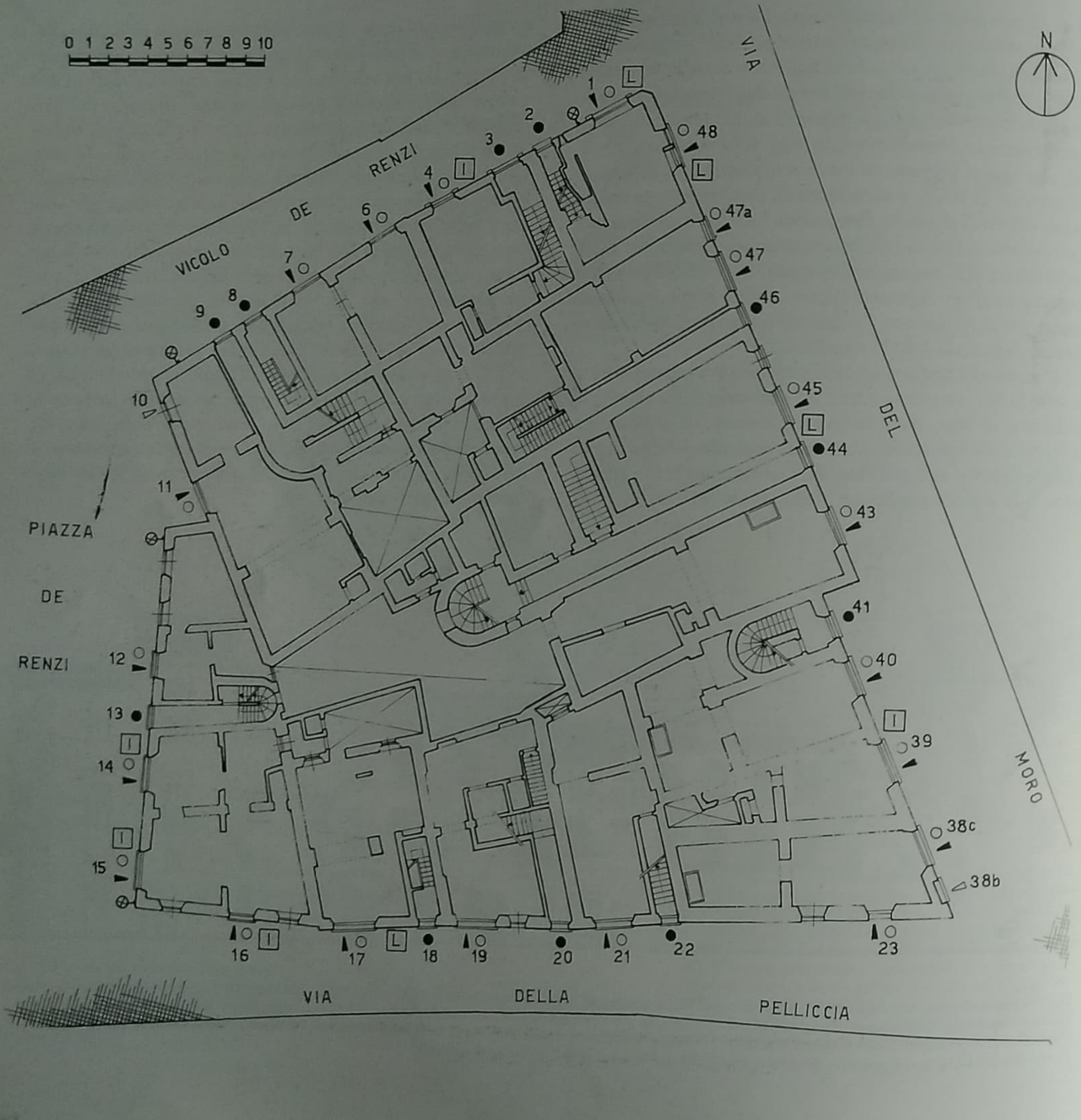

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
N
VIA DEL MORO
VICOLO DE RENZI
PIAZZA DE RENZI
VIA DELLA PELLICCIA
1
2
3
4
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
38b
38c
39
40
41
43
44
45
46
47
47a
48
L
I

Fig. 12 (*a fronte*). Planimetria di un isolato del rione Trastevere in Roma, sulla quale è stata riportata la simbologia di cui alla fig. XI.11. Rilevamento del 1983.

Fig. 13. Esemplificazione delle destinazioni d'uso di alcuni isolati del rione Trastevere in Roma.

Infine la cartografia (figg. 9, 11, 12), da delineare in scala 1:200, deve consentire di analizzare in modo più approfondito gli elementi architettonici e di arredo urbano dell'isolato, sia planimetricamente, sia altimetricamente.

A parte, e in apposita scala (1:1000-1:500), vanno approntate carte tematiche, quali quella relativa al raffronto dei vari catasti, compreso l'ultimo di questi, e la planimetria più aggiornata dei centri da studiare, quella concernente le destinazioni d'uso, quella specifica sullo stato di conservazione generale, quella sulle varie fasi storico-costruttive ecc. (figg. 10, 13, 14).

Per ciò che concerne gli elaborati grafici della scheda SU, si è dovuto ridurre al minimo il numero di essi, tralasciando del tutto importanti settori, espressamente richiesti nella scheda, quali quello delle immagini storiche (vecchi catasti, rilevamenti antichi, mappe), quello delle fotografie e di documenti vari, mentre per altre categorie si è presentata una sola immagine a titolo dimostrativo.

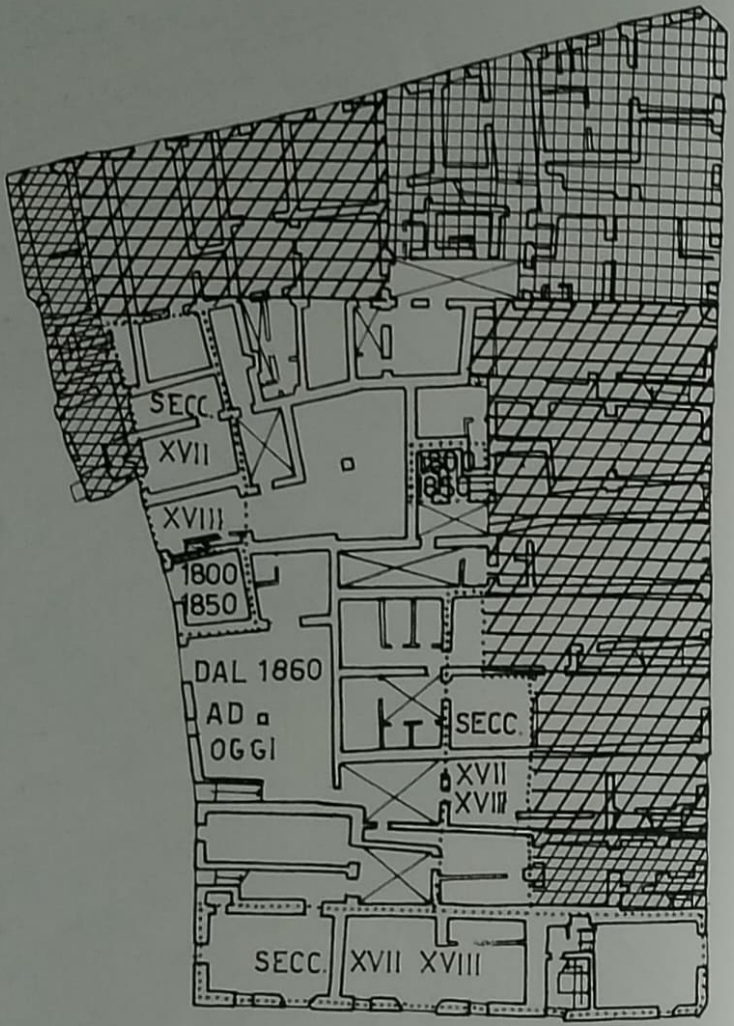


Fig. 14. Schema di un isolato del rione Trastevere in Roma, con l'individuazione delle varie fasi di impianto costruttivo.

Esemplificazione di compilazione della scheda A (architettura) dell'ICCD

La scheda A (architettura) [26], proposta in forma digitale dall'ICCD, è relativa a edifici singoli o a complessi architettonici. Essa non è riservata unicamente alle cosiddette «emergenze architettoniche», ma concerne tutte quelle opere in cui si possa riscontrare un valore storico o etnoantropologico. La scheda A è basata prevalentemente su una descrizione scritta dell'edificio, mentre dedica poca attenzione all'esemplificazione grafica della qualità architettonico-ambientale dell'opera stessa. Suppliscono, in parte, a questa carenza un'immagine in apertura della scheda, una planimetria catastale e una serie di fotogrammi, rappresentanti l'esterno e l'interno dell'opera architettonica.

La prima pagina della scheda riporta i dati identificativi dell'edificio (definizione tipologica, localizzazione, proprietario, settore urbano e ambito culturale), mentre nella seconda pagina trovano posto le notizie storiche, le descrizioni sintetiche della pianta, delle strutture verticali e della copertura, nonché informazioni sull'utilizzazione attuale e storica e sui provvedimenti di tutela ecc. La scheda si chiude con uno spazio dedicato alle fonti e ai documenti di riferimento e alla documentazione fotografica; altre fincature riportano le specifiche di accesso ai dati, i responsabili della compilazione, le annotazioni e il visto del soprintendente.

Dall'esame delle schede presentate si evince chiaramente che la descrizione verbale, prevalente, dovrebbe essere integrata con elaborazioni grafiche (piante, sezioni e prospetti), indispensabili per una prima conoscenza della qualità architettonica dell'opera censita.

a

Tipo scheda:/livello
A-I
Codice univoco:
1200970839
Ente schedatore:
A7
Ente Competente:
A7
Ente Proponente:

OGGETTO	
OGGETTO	Definizione tipologica: torre - Qualificazione: medioevale - Denominazione: Torre di Centocelle -
ALTRA DENOMINAZIONE	Genere denominazione: storica - Denominazione: Tor S. Giovanni -
LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO-AMMINISTRATIVA	
LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO-AMMINISTRATIVA	Regione: Lazio - Provincia: RM - Comune: Roma - Indirizzo: Via Marco Stazio Prisco x Via Marco Rutilio -
ZONA URBANA	Denominazione: zona dell'agro romano -
SETTORE	Tipo: SU anomalo - Numero: Z24 - Denominazione: Don Bosco/ Municipio VIII -
LOCALIZZAZIONE CATASTALE	
LOCALIZZAZIONE CATASTALE	Tipo di localizzazione: localizzazione fisica - Comune: Roma - Foglio/Data: 953 - Particelle: 1 - Proprietari: Istituto Nazionale per le Case degli Impiegati dello Stato con sede in Roma -
DEFINIZIONE CULTURALE	
AMBITO CULTURALE	Riferimento all'intervento: costruzione - Denominazione: architettura medioevale - Fonte dell'attribuzione: n.d.c analisi stilistica -

Fig. 15a,b,c,d. Scheda A (architettura) n. 1200970839, Torre di Centocelle o Tor San Giovanni: a) dati identificativi dell'opera; b) notizie storiche, cronologia, informazioni di tipo costruttivo, vincoli ecc.; c) dati sulla documentazione fotografica, responsabili della compilazione, visto del soprintendente ecc.; d) planimetria dell'Agenzia del territorio allegata alla scheda.

b

NOTIZIE STORICHE	
NOTIZIA	Riferimento: intero bene - Notizia sintetica: primo impianto - Fonte: n.d.c analisi stilistica -
CRONOLOGIA, ESTREMO REMOTO	Secolo: XII - Validità: ca. -
CRONOLOGIA, ESTREMO RECENTE	Secolo: XII - Validità: ca. -
PIANTA	
PIANTA	Schema: quadrangolare - Forma: quadrata -
STRUTTURE VERTICALI	
TECNICA COSTRUTTIVA	Genere: in muratura - Materiali: lava leucititica - Materiali: marmo, elementi - Materiali: laterizio, elementi -
COPERTURE	
CONFIGURAZIONE ESTERNA	Genere: piana -
UTILIZZAZIONI	
USO ATTUALE	Uso: nessuno -
USO STORICO	Uso: torre di guardia -
CONDIZIONE GIURIDICA E VINCOLI	
CONDIZIONE GIURIDICA	Indicazione generica: proprietà Ente pubblico territoriale -
PROVVEDIMENTI DI TUTELA	Tipo provvedimento: notificazione (L.364/1909) - Estremi provvedimento: 1923/12/26/ -
STRUMENTI URBANISTICI	Strumenti in vigore: P.R.G. approvato con D.P.R. Del 16/12/1965 e P.R.G. adottato con delibera del Consiglio Comunale n. 33 del 19/20 marzo 2003 - Sintesi normativa zona: P.R.G. approvato, Zona N art. 16: N parchi pubblici e impianti sportivi. PRG Adottato, Sistemi e regole: Sistema dei servizi e delle infrastrutture. Servizi. Verde pubblico e servizi pubblici di livello locale (Titolo IV, Capo 2°, art. 79). -
FONTI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 001 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 002 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30

c

	- Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 003 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 004 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 005 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 006 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/30 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970839 - 007 -
DOCUMENTAZIONE GRAFICA	Genere: documentazione allegata - Tipo: stralcio foglio catastale - Codice identificativo: Map Cat A7 12/00970839 01 - Autore: Agenzia del Territorio - Uff. Provinciale di Roma -
ACCESSO AI DATI	
SPECIFICHE DI ACCESSO AI DATI	Profilo di accesso: 1 - Motivazione: proprietà ente pubblico -
COMPILAZIONE	
COMPILAZIONE	Data: 2006 - Nome: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Funzionario responsabile: Roberto BANCHINI -
ANNOTAZIONI	Osservazioni: L'area, su cui il fabbricato é situato, é inclusa nel P.T.P. n. 15/9 "Valle dell'Aniene tavola serie E/3i. Nella "Carta storica archeologica monumentale e paesistica del suburbio e dell'agro romano", foglio 25N, é segnalato con il numero 68/E. -

VISTO DEL SOPRINTENDENTE

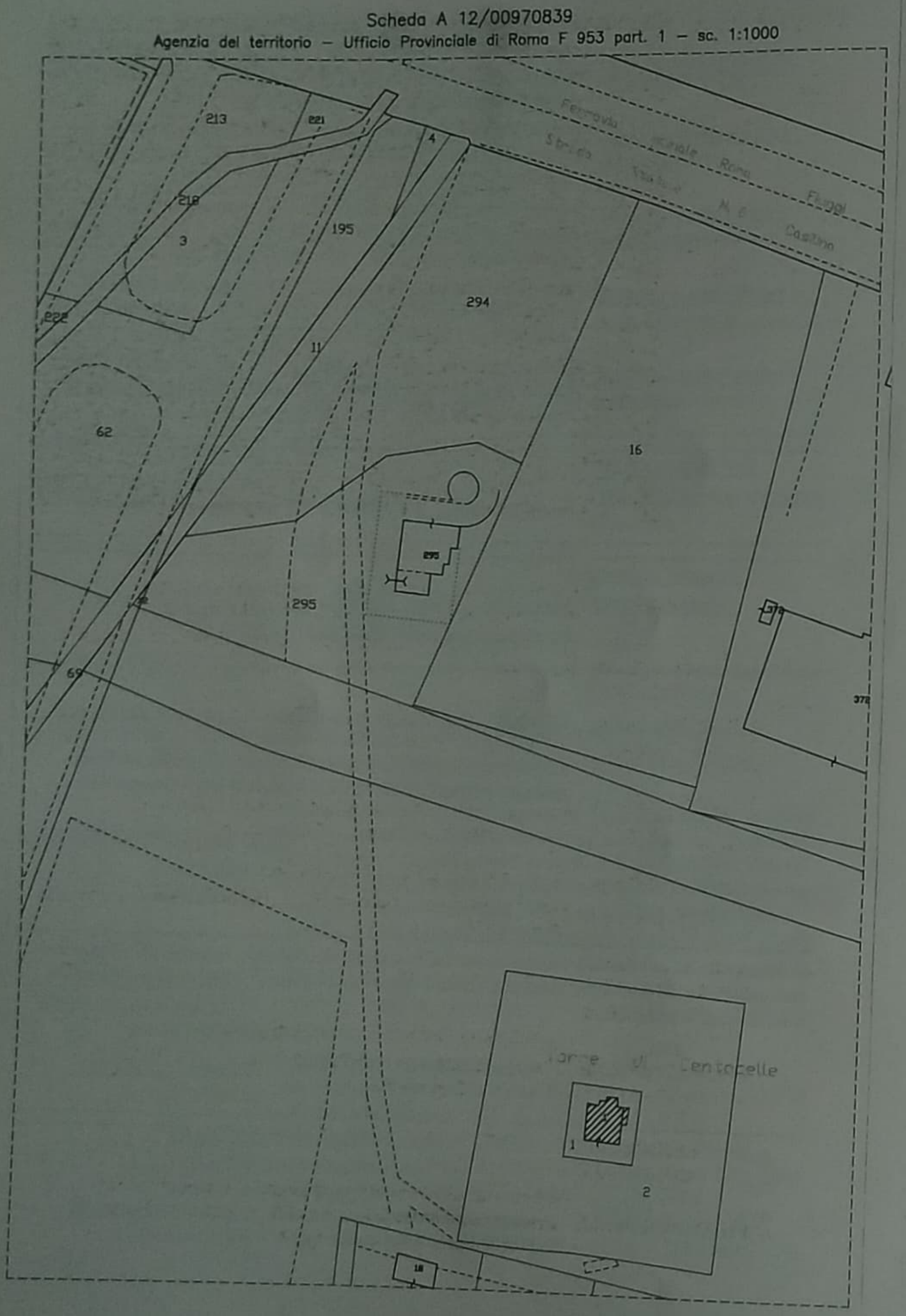
Io sottoscritto mi obbligo alla conservazione del bene descritto, secondo le norme del *Codice dei beni culturali e del paesaggio* di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e successive modificazioni e integrazioni.

data FIRMA

RISCONTRI DI ISPEZIONE

data	FIRMA	FIRMA FUNZIONARIO
data	FIRMA	FIRMA FUNZIONARIO
data	FIRMA	FIRMA FUNZIONARIO

d


Scheda A 12/00970839
Agenzia del territorio – Ufficio Provinciale di Roma F 953 part. 1 – sc. 1:1000
213
221
4
218
3
195
294
222
11
62
16
295
69
2
1
18

a

Tipo scheda:/livello
A-I
Codice univoco:
1200970813
Ente schedatore:
A7
Ente Competente:
A7
Ente Proponente:

OGGETTO	
OGGETTO	Definizione tipologica: chiesa - Qualificazione: rurale - Denominazione: Chiesetta dell'Osteria del Fornaccio -
ALTRA DENOMINAZIONE	Genere denominazione: originaria - Denominazione: Chiesa di S. Francesco -
LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO-AMMINISTRATIVA	
LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO-AMMINISTRATIVA	Regione: Lazio - Provincia: RM - Comune: Roma - Indirizzo: Via Sette Camini x Via Tiburtina -
ZONA URBANA	Denominazione: zona dell'agro romano -
SETTORE	Tipo: SU anomalo - Numero: Z 6 - Denominazione: Settecamini/ Municipio V -
LOCALIZZAZIONE CATASTALE	
LOCALIZZAZIONE CATASTALE	Tipo di localizzazione: localizzazione fisica - Comune: Roma - Foglio/Data: 294 All. A - Particelle: 73 - Proprietari: Pazienti Alba -
DEFINIZIONE CULTURALE	
AMBITO CULTURALE	Riferimento all'intervento: costruzione - Denominazione: architettura rurale tradizionale dell'Agro romano - Fonte dell'attribuzione: n.d.c analisi stilistica -

Fig. 16a,b,c,d. Scheda A (architettura) n. 1200970813. Chiesa di San Francesco, detta chiesetta dell'Osteria del Fornaccio: a) immagine e dati identificativi dell'edificio; b) notizie storiche, notizie relative alla forma e alla struttura e pertinenti alla condizione giuridica e agli strumenti urbanistici; c) dati della documentazione fotografica, nomi dei compilatori, quello del Soprintendente ecc.; d) planimetria dell'Agenzia del territorio allegata alla scheda.

b

NOTIZIE STORICHE	
NOTIZIA	Riferimento: intero bene - Notizia sintetica: costruzione - Fonte: n.d.c. analisi stilistica -
CRONOLOGIA, ESTREMO REMOTO	Secolo: XVII - Validità: ca. -
CRONOLOGIA, ESTREMO RECENTE	Secolo: XVII - Validità: ca. -
PIANTA	
PIANTA	Schema: longitudinale - Forma: rettangolare -
STRUTTURE VERTICALI	
TECNICA COSTRUTTIVA	Genere: in muratura -
COPERTURE	
CONFIGURAZIONE ESTERNA	Genere: a tetto - Forma: a 2 falde -
MANTO DI COPERTURA	Tipo: tegole - Qualificazione del tipo: coppi - Qualificazione del tipo: embrici - Materiali: laterizio -
UTILIZZAZIONI	
USO ATTUALE	Uso: chiesa -
USO STORICO	Uso: chiesa -
CONDIZIONE GIURIDICA E VINCOLI	
CONDIZIONE GIURIDICA	Indicazione generica: proprietà privata -
STRUMENTI URBANISTICI	Strumenti in vigore: P.R.G. approvato con D.P.R. Del 16/12/1965 e P.R.G. adottato con delibera del Consiglio Comunale n. 33 del 19/20 marzo 2003 - Sintesi normativa zona: PRG approvato, Zona F art 10: F1 ristrutturazione urbanistica aree parzialmente edificate. PRG adottato, Sistema dei servizi e delle infrastrutture. Servizi. Verde pubblico e servizi pubblici di livello locale (Titolo IV, Capo 2°, art. 79). -
FONTI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/12 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970813 - 001 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/12 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970813 - 002 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/12 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970813 - 003 -

c

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/12 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970813 - 004 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/12 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970813 - 005 -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	Genere: documentezione allegata - Tipo: fotografia digitale - Autore: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Data: 2005/12/12 - Codice identificativo: AFC A7 12/00970813 - 006 -
DOCUMENTAZIONE GRAFICA	Genere: documentazione allegata - Tipo: stralcio foglio catastale - Codice identificativo: Map Cat A7 12/00970813 01 - Autore: Agenzia del Territorio - Uff. Provinciale di Roma -
ACCESSO AI DATI	
SPECIFICHE DI ACCESSO AI DATI	Profilo di accesso: 2 - Motivazione: proprietà privata -
COMPILAZIONE	
COMPILAZIONE	Data: 2006 - Nome: Jean Rosa PEIXOTO DE OLIVEIRA - Funzionario responsabile: Roberto BANCHINI -
ANNOTAZIONI	Osservazioni: L'area, su cui il fabbricato é situato, é inclusa nel P.T.P. n. 15/9 "Valle dell'Aniene tavola serie E/3b in zona di tutela orientata TOc/7. Nella tavola serie E/3b bis del predetto P.T.P. il fabbricato é identificato tra i "beni d' interesse storico-monumentale" con il n. 122 - Osteria del Fornaccio: chiesa. Nella "Carta storica archeologica monumentale e paesistica del suburbio e dell'agro romano", foglio 16N, é segnalato con il numero 210. -

VISTO DEL SOPRINTENDENTE

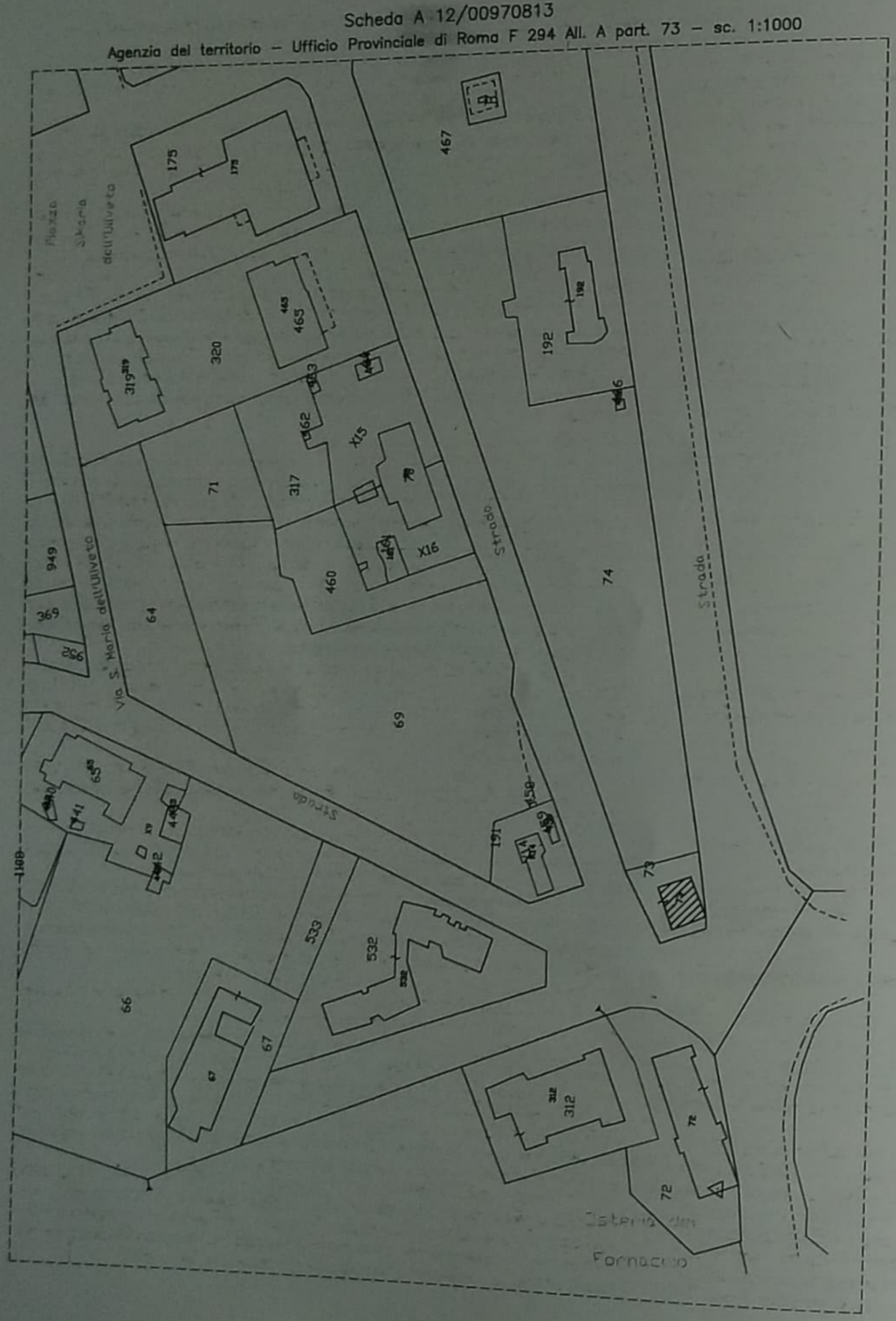
Io sottoscritto mi obbligo alla conservazione del bene descritto, secondo le norme del *Codice dei beni culturali e del paesaggio* di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e successive modificazioni e integrazioni.

data FIRMA

RISCONTRI DI ISPEZIONE

data	FIRMA	FIRMA FUNZIONARIO
data	FIRMA	FIRMA FUNZIONARIO
data	FIRMA	FIRMA FUNZIONARIO

d


Scheda A 12/00970813
Agenzia del territorio – Ufficio Provinciale di Roma F 294 All. A part. 73 – sc. 1:1000
Piazza S.Maria dell'Uliveto
Via S.ª Maria dell'Uliveto
Strada
Strada
Strada
Osteria del Fornaccio
175
467
192
320
465
319
71
317
X15
X16
460
949
369
64
69
74
73
191
533
532
66
67
312
72

Note

[1] Una definizione di bene culturale si trova già negli «Atti» della Commissione Franceschini, da cui si ricava che il bene culturale è «una testimonianza materiale avente valore di civiltà». I beni ambientali, divisi in paesaggistici (aree naturali, aree ecologiche e paesaggi artificiali) e urbanistici (strutture insediative urbane e non urbane), completano, con quelli culturali, il settore di pertinenza dell'apposito ministero, istituito nel 1975. La commissione di indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio (detta, dal nome del suo presidente, Commissione Franceschini) venne istituita con la legge del 26 aprile 1964, n. 310 e si occupò, per due anni, della revisione delle precedenti leggi di tutela del patrimonio artistico nazionale, delle strutture statali esistenti per la salvaguardia di esso e del potenziamento del servizio di catalogazione.

[2] Nel 1969 viene costituito l'Ufficio centrale per il catalogo, con il compito di coordinare i lavori, in merito all'assunto, delle varie Soprintendenze.

[3] Oggi ministero per i Beni e le Attività Culturali, di cui fa parte la Direzione generale per i beni architettonici e paesaggistici, a sua volta strutturata in: Servizio I - Patrimonio architettonico e affari generali, con attività di competenza in materia di tutela e valorizzazione, di cui al decreto legislativo del 22 gennaio 2004, n. 42; Servizio II - Paesaggio, con attività di competenza in materia di tutela e valorizzazione dei beni paesaggistici, di cui al decreto legislativo del 22 gennaio 2004, n. 42 ecc.

[4] Cfr. la legge del 19 aprile 1990, n. 84. Il piano prende l'avvio anche dall'entrata in vigore dell'Atto Unico Europeo, ratificato in italia, con la legge del 23 dicembre 1986, n. 909.

[5] Decreto ministeriale del 9 luglio 1990 dal titolo: *Programma di interventi nell'ambito delle attività e dei compiti istituzionali di catalogazione, inventariazione, prevenzione e salvaguardia dei Beni Culturali e Ambientali, elaborazione di una carta conoscitiva aggiornabile della situazione di rischio con la relativa banca dati e potenziamento delle attività di ricerca e formazione*.

[6] Anche in questo caso l'ICCD ha approntato una *Normativa per la catalogazione dei modelli di rilevamento dei dati di precatalogazione per schede dei Beni Ambientali e Architettonici*.

[7] Gli altri tre sono: l'Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle Biblioteche Italiane, l'Istituto Centrale per la Patologia del Libro e l'Istituto Centrale per il Restauro.

[8] Cfr. www.iccd.beniculturali.it.

[9] Cfr. *«Un sistema multimediale integrato per la catalogazione dei beni culturali italiani»: obiettivi del progetto*, in www.iccd.beniculturali.it.

[10] Il SIGEC (Sistema Informativo Generale del Catalogo), quale sistema in continuo divenire, può contenere e gestire fino a dieci milioni di schede di catalogo e, inoltre, può essere adattato alle specifiche necessità, sia dalle amministrazioni centrali, sia da quelle periferiche.

[11] Cfr. *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio architettonico d'Europa*, firmata a Granada il 13 ottobre del 1985.

[12] Cfr. decreto legislativo del 22 gennaio 2004, n. 42, recante il *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, ai sensi dell'art. 10 della legge del 6 luglio 2002, n. 137, pubblicato sulla «Gazzetta Ufficiale», 24 febbraio 2004, n. 45.

[13] Cfr. decreto legislativo del 26 marzo 2008, n. 62, *Riforma del Codice dei beni culturali e paesaggistici*, pubblicato sulla «Gazzetta Ufficiale», 9 aprile 2008, n. 42.

[14] Cfr. *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio architettonico d'Europa*, punto 2, art. 1, *Definizioni di Patrimonio Architettonico*: «Gli insiemi architettonici: agglomerati omogenei di costruzioni urbanistiche o rurali notevoli per il loro interesse storico, archeologico, artistico, scientifico, sociale o tecnico e sufficientemente coerenti per essere oggetto di una delimitazione topografica».

[15] Cfr. Ivi, punto 3, art. 1, *Definizioni di Patrimonio Architettonico*: «I siti: opere combinate dell'uomo e della natura parzialmente costruite e costituenti spazi sufficientemente caratteristici ed omogenei per essere oggetto di una delimitazione topografica, notevoli per il loro interesse storico, archeologico, artistico, scientifico, sociale o tecnico».

[16] Cfr. *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, punti 1-3, art. 2:

1. Il patrimonio culturale è costituito dai beni culturali e dai beni paesaggistici.

2. Sono beni culturali le cose immobili e mobili che, ai sensi degli articoli 10 e 11, presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge, quali testimonianze aventi valori di civiltà.

3. Sono beni paesaggistici gli immobili e le aree indicati all'art. 134, costituenti espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici del territorio, e gli altri beni individuati dalla legge o in base alla legge.

[17] Cfr. *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, comma 1, art. 10: «Sono beni culturali le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, ivi compresi gli enti ecclesiastici civilmente riconosciuti, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico». Nei commi 2-4 vengono specificati in dettaglio altri beni culturali.

[18] Cfr. http://www.iccd.beniculturali.it/catalogazione/standard.catalografici/normative.

[19] *Ibidem*.

[20] La catalogazione precedente privilegiava il territorio, considerando l'unità base costituita da un territorio comunale tipo, e prevedeva le schede: T (territorio), che copriva l'intera area comunale; TU (urbanistica); TF (flora e fauna); TG (geologia), che esaminavano le aree omogenee, in relazione alla disciplina considerata, indipendentemente dai confini comunali; e gli «inserti» TA (Antichità) e TM (Medioevo-Età moderna), che analizzavano l'intero territorio, in modo interdisciplinare, per ciò che concerne i periodi storici citati. Le schede di approfondimento erano la TP (settore extraurbano-particelle aggregate per toponimi), la CS (centro storico) e la SU (settore urbano, con i rispettivi «repertori» inserti di approfondimento).

I beni immobiliari di qualsiasi epoca erano catalogati mediante le schede CA (complesso archeologico), A (architettura), PG (parco-giardino), SAS (saggio stratigrafico) ecc. Seguivano, poi, le schede dei beni mobili, tra cui quelle RA (reperto archeologico), N (numismatica), OA (opera e oggetto d'arte), S (stampa), D (disegno) ecc.

[21] Esso comprende un sottogruppo denominato Beni Naturalistici, che prevede le schede BNB (botanica), BNM (mineralogia), BNPE (petrologia), BNPL (planetologia) e BNZ (zoologia).

[22] Le schede, così come alcuni esempi di compilazione della stessa, sono disponibili per la consultazione in rete/download, nella versione 2.00 (struttura dei dati e normativa) e nella versione 3.00 (struttura dei dati).

[23] A titolo esemplificativo riportiamo le specificazioni del settore CD-CODICI: tipo di scheda (TSK), livello di ricerca (LIR), codice univoco (NCT), codice regione (NCTR), numero catalogo generale (NCTN), ente schedatore (ESC) ed ente competente (ECP). Il codice univoco riporta i dati per il collegamento in forma univoca tra la scheda e il bene catalogato.

[24] La versione informatica di questa scheda è allo studio: la descrizione, quindi, riguarda la precedente scheda cartacea.

[25] Cfr. L. Cavagnaro Pontuale (a cura di), IV: *Norme per la redazione della scheda SU*, in ICCD, *Norme per la redazione delle schede di catalogo dei beni culturali*, 3: *Beni ambientali e architettonici*, con la collaborazione di G. Ramellini, M. Magnani Cianetti Tozzi, Roma 1983. L'opuscolo, a cui si rimanda per un'esauriente disamina dell'argomento, spiega con dovizia di particolari e di esempi gli intenti e la compilazione della scheda SU e dei repertori «Stato attuale» e «Indagine storica», allegati alla stessa.

[26] È stato possibile pubblicare le schede A n. 1200970839 e n. 120097813 in seguito alla cortese concessione della Soprintendenza per i Beni architettonici e per il paesaggio per il Comune di Roma e dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, di cui si ringraziano le rispettive direttrici, la dottoressa Federica Galloni e la dottoressa Mariarosaria Salvatore.

Capitolo quattordicesimo

Sintesi storica

A conclusione di questo *Manuale* è sembrato opportuno inserire un breve panorama dell'evoluzione storica della disciplina in oggetto: si tratta di una sintesi della trattazione contenuta nel volume intitolato *Storia del rilevamento architettonico e urbano*, uscito nel 1993 per i tipi della Laterza, cui si rimanda per una disamina più approfondita ed esauriente della Storia del rilevamento.

L'antichità

La ricerca di un dialogo, di un rapporto tra uomo e ambiente circostante non è una prerogativa del mondo moderno. Fin dall'antichità, infatti, sia pure in forma embrionale e concettualmente assai diversa da oggi, l'essere umano ha tentato di instaurare un legame con la realtà con cui veniva via via in contatto, non accontentandosi talora di operare per modificare, più o meno volontariamente, il luogo in cui era insediato, ma cercando talvolta di raffigurare quanto aveva modificato o creato.

A volte, anzi, le testimonianze più interessanti di un'antica civiltà sono, oltre ai manufatti litici o agli altri reperti archeologici, proprio le rappresentazioni di capanne, di case, di territori, di scene di caccia o rituali, incise, dipinte o scolpite su pietra o su altro supporto resistente al tempo, trasformato per l'occasione in piano di raffigurazione. Si intende fare qui riferimento a raffigurazioni legate a edifici e a insediamenti già esistenti, le quali abbiano carattere sintetico e dimostrino, da parte di chi le ha eseguite, la conoscenza di certe convenzioni, necessarie per passare dalla realtà al supporto bidimensionale, e presentino il tentativo di stabilire, tra la realtà tridimensionale e il piano, una relazione espressa mediante una serie di norme grafiche. Indubbiamente si è, in questi casi, ben lontani da quanto oggi si intende per rilevamento architettonico, sia per quanto riguarda il lato teorico, sia per ciò che concerne le applicazioni pratiche, ma si tratta pur sempre di un tentativo, spesso ben riuscito, di osservare, sintetizzare e trascrivere graficamente il mondo fisico: elementi, questi, che sono alla base di qualsiasi rilevamento.

Argomento di questo capitolo è, appunto, l'esposizione molto sintetica delle principali caratteristiche del rilevamen-

Fig. 1. Trascrizione grafica di una tavoletta di argilla sumerica, ritrovata a Nippur, che rappresenta probabilmente parte del centro urbano della città (ca. 1500 a.C.) ove è stata rinvenuta.

to architettonico nelle fasi evolutive che hanno caratterizzato le varie epoche a partire dall'antichità.

La Mesopotamia

La Mesopotamia, ad esempio, offre testimonianze interessanti, dal punto di vista dell'osservazione del «costruito» e della relativa trascrizione su apposito supporto, con tutta una serie di raffigurazioni schematiche di edifici e di città su tavolette di argilla o su sculture e bassorilievi lapidei. Le prime testimonianze di misurazioni di terreni risalgono alla fine del III millennio a.C., mentre ascrivibili alla prima metà del II millennio a.C. restano varie descrizioni di terreni, per quanto riguarda i confini, la grandezza e l'ubicazione.

Le tavolette d'argilla sumeriche più famose in questo campo, ritrovate a Nippur, risalenti al 1500 circa a.C., svolgono temi urbani differenti: in una, in particolare, che rappresenta parte della città sopracitata posta a ridosso delle anse dell'Eufrate, sono indicate le mura urbane, le porte, il fiume, i canali e i principali edifici sacri (fig. 1). Un'altra (1500-1300 a.C.), che rappresenta il territorio compreso tra le città di Hamri, Biktar Nusku, Qatnu e Ba-lu, è caratterizzata da un più forte schematismo geometrico e da una simbologia di superficie piuttosto ricca, atta ad evidenziare i centri abitati, i canali, i campi e taluni luoghi ritenuti importanti (fig. 2).

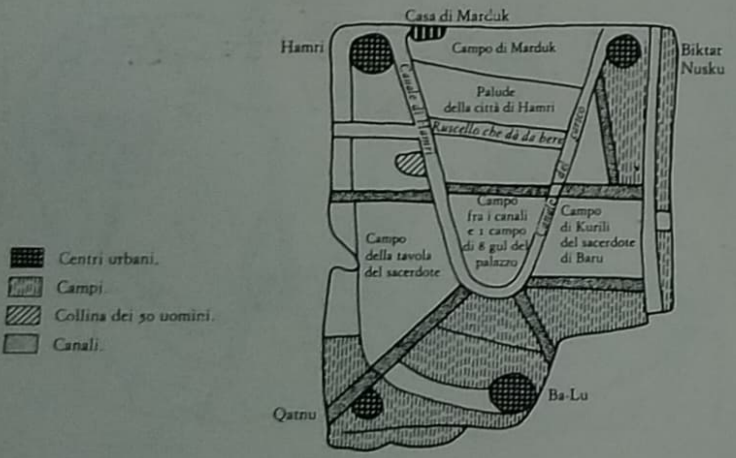


Fig. 2. Trascrizione grafica di una tavoletta di terracotta, rinvenuta a Nippur, rappresentante la mappa di un territorio compreso tra centri abitati (ca. 1500-1300 a.C.).

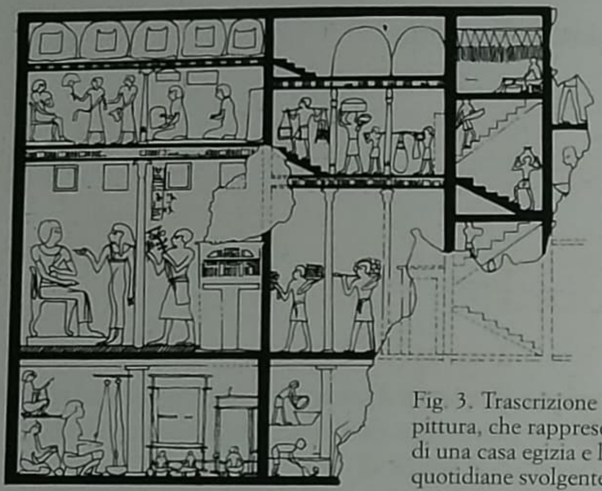


Fig. 3. Trascrizione grafica di una pittura, che rappresenta la sezione di una casa egizia e le varie attività quotidiane svolgentesi in essa.

L'Egitto

L'importanza dell'Egitto nella conoscenza della geometria e nella raffigurazione architettonica in genere, oltre che nel campo delle misurazioni territoriali, è nota da tempo. Era probabilmente una particolare casta, legata al mondo sacerdotale, ad occuparsi delle questioni inerenti l'architettura, il disegno e l'agrimensura. In campo architettonico è degna di nota, ad esempio, la sezione di una casa egizia, ove sono chiaramente indicate, per ogni ambiente, scene di vita familiare e in cui appare leggibile anche la struttura dell'edificio, con i muri portanti, i solai, la copertura, il vano scala, l'ingresso e le finestre (fig. 3). Degna di menzione è anche la «carta» topografica della regione di Hammamat, risalente al tempo di Sethos I (1309-1291 a.C.), che riporta l'ubicazione di miniere aurifere con i relativi punti di riferimento essenziali (fig. 4). Ascrivibili all'epoca tolemaica, restano vari frammenti di «catasti», che informano sui nomi dei proprietari, sulla superficie coltivabile, sul tipo di terreno, su strade e canali di confine ecc. Alcune raffigurazioni tombali mostrano, poi, scene di agrimensori all'opera per la misurazione dei campi, tenditori di «corda» (graduata in parti uguali da nodi) e altre persone addette a lavori pratici, scribi intenti alla lettura delle misure, sovrintendenti che dirigono le varie fasi del lavoro ecc. (fig. 5). Le notizie sugli strumenti e sui metodi di misurazione sono abbondanti, ma frammentarie: la corda graduata (*nouh*), unità di misura equivalente a 100 cubiti (ml 52,30

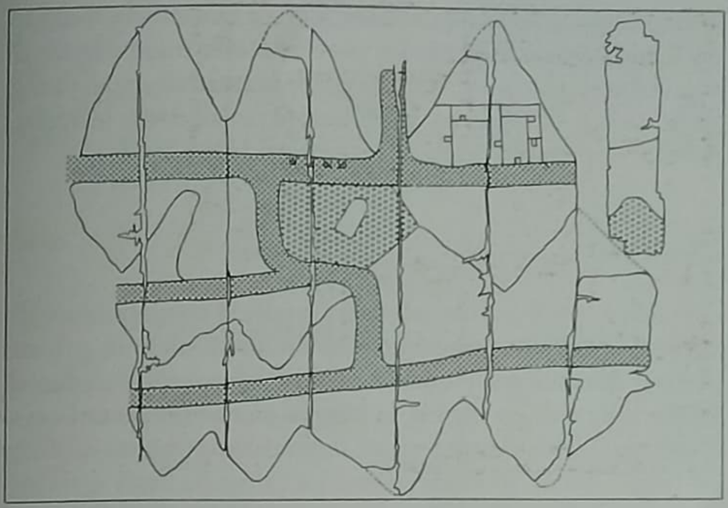


Fig. 4. Grafico tratto da un papiro raffigurante giacimenti auriferi della Nubia.

Fig. 5. Tomba di Geserkarensonb. Pittura raffigurante agrimensori al lavoro. Si noti la corda graduata con nodi per le misurazioni sul terreno.

ca.), con nodi ogni cinque di essi, ad esempio, è citata fin dal 2800 a.C.; notizie sui diversi modi di misurare sono contenute in papiri del 2000 circa a.C., mentre la squadra, l'archipendolo e il filo a piombo sono stati rinvenuti in tombe della XX dinastia (ca. 1100 a.C.). Alcuni strumenti servivano per traguardare (*merkhet*), per tracciare allineamenti (*groma*), per ricavare angoli di 90° (corda a nodi equidistanti, per tracciare il triangolo «magico», di lati proporzionali 3-4-5 e, quindi, rettangolo); altri, come regoli di vario tipo e canne agrimensorie, si usavano, invece, per prendere misure lineari; restano, inoltre, campioni di cubiti interi o ripiegabili.

La Grecia

I Greci trassero dalla civiltà egizia e da quella mesopotamica molte cognizioni geometriche e agrimensorie. Le prime testimonianze di rilevamento risalgono a Talete di Mileto, vissuto tra il VII e il VI secolo a.C. Di lui Eudemo, suo biografo, riferisce nelle *Narrazioni storiche* che avesse costruito una specie di congegno con cui ricavare, stando a terra, la distanza intercorrente tra una nave e la linea di costa (fig. 6). Importanti progressi nel campo della geometria e delle sue applicazioni pratiche vengono compiuti da Archimede di Siracusa (287-212 a.C.), da Apollonio di Perge (Panfilia), nato nel 247 a.C., e da Eratostene, nato a Cirene intorno al 275 a.C. e morto nel 194 circa ad Alessandria d'Egitto, dove era stato chiamato da Tolomeo Evergete a dirigere la biblioteca e il museo di quella città. Tra il 215 e il 100 a.C. visse Eratostene di Alessandria, autore singolarmente importante ai fini

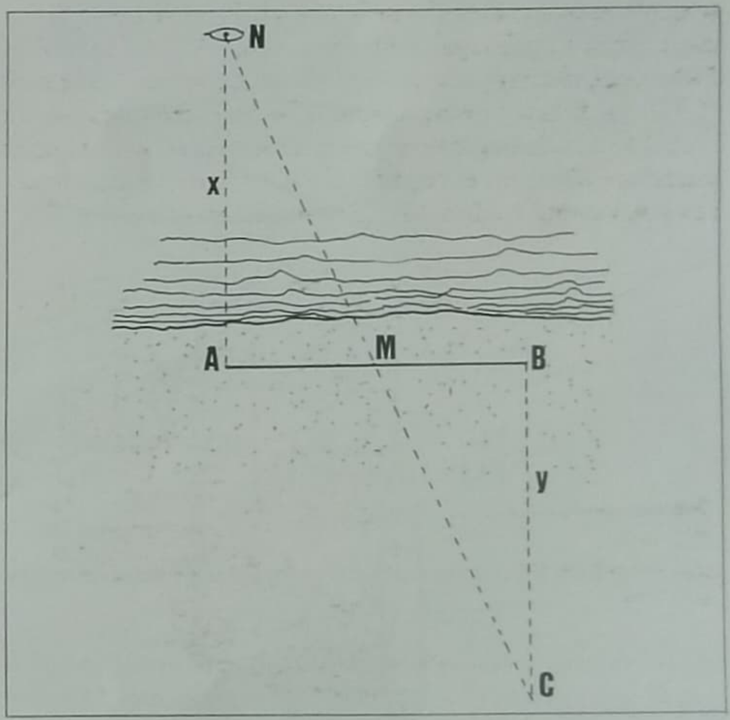


Fig. 6. Schema grafico che indica la determinazione relativa alla distanza di una nave dalla costa, secondo Talete di Mileto.

dell'argomento in oggetto, per aver scritto un'opera sulla diottra[1], in cui ha trattato dei più svariati problemi di agrimensura, perfezionando i vecchi sistemi di misurazione in uso fino ad allora (fig. 7). Egli è soprattutto noto, però, per lo strumento detto «traguardo»[2], il quale consentiva molti tipi di misurazioni. Con esso si potevano effettuare misure di angoli azimutali e zenitali, di luoghi inaccessibili, quali mura, torri, sponde di fiume ecc., livellazioni per derivare le acque, per costruire mura, ponti ed edifici vari (fig. 8).

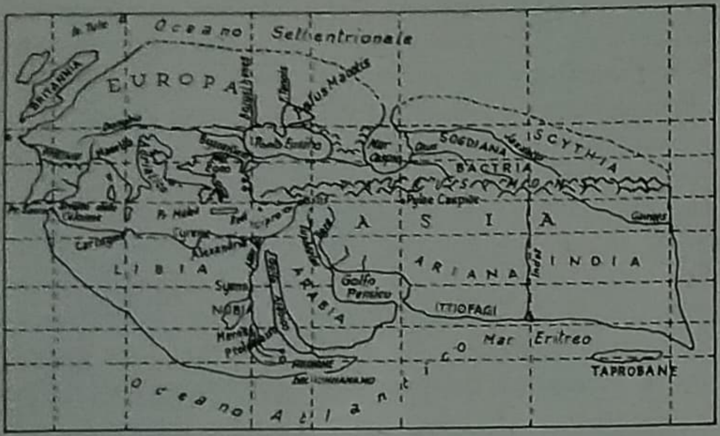


Fig. 7. Ricostruzione del mondo conosciuto, in base alle idee di Eratostene (ca. 220 a.C.).

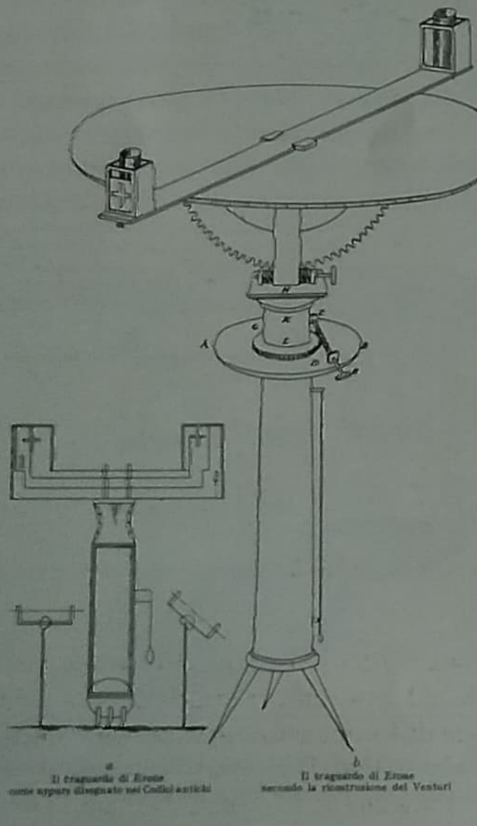


Fig. 8. La diottra di Erone nella ricostruzione proposta dal Venturi (1814).

I Romani

Poche, ma di grande valore culturale, le testimonianze dirette che trattano del rilevamento architettonico ed urbano presso i Romani, tra le quali si possono annoverare trattati di architettura e di geometria, la mappa marmorea detta *Forma Urbis* e la *Tabula Peutingeriana*, il cosiddetto *Catasto di Arausio* (oggi Orange, in Francia) ecc. La categoria degli agrimensori, ormai affermata da tempo, vanta nel I secolo d.C. i nomi di Balbo, di Sesto Giulio Frontino (40-103 d.C.), autore di un'opera di agrimensura in due libri, di cui restano solo degli estratti, di Marco Fabio Quintiliano (35-93 d.C.), che scrisse anche un trattato di agrimensura, e di Caio Giulio Igino (103 d.C.), di cui è pervenuto uno scritto sull'arte di ubicare e difendere un campo militare. Gli agrimensori romani erano organizzati in corporazioni, godevano di vari privilegi e le loro scuole professionali miravano principalmente a far progredire le applicazioni pratiche dell'agrimensura. Essi si dividevano in due categorie: la prima, costituita da coloro che si occupavano del lato scientifico della materia, impiegati nella pubblica amministrazione; la seconda, che raggruppava coloro che si occupavano degli aspetti pratici ed esecutivi della disciplina.

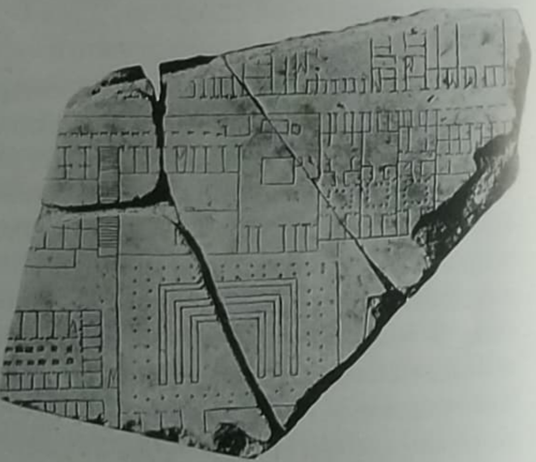


Fig. 9. Alcuni frammenti contigui, con topografia non identificata, della pianta marmorea di Roma, ove sono visibili delle *domus* e dei grandi edifici pubblici. Da notare, sia la precisione del segno, sia la varietà dei simboli adottati per raffigurare i vari elementi degli organismi architettonici (primo quarto del III secolo a.C.).

Fig. 10. Frammenti marmorei della cosiddetta *Forma Urbis Romae*, relativi alla zona compresa tra ponte Sublicio e ponte Testaccio, riportati sulla planimetria attuale della stessa zona.

Chiamati dapprima *mensores*, vennero poi denominati *finitores*, quindi genericamente *agrimensores* o anche *decempedatores* (dalla *decempeda*, asta graduata, lunga 10 piedi romani)[3].

La grande maestria raggiunta dagli agrimensori romani si palesa chiaramente nella cosiddetta *Pianta marmorea di Roma* o *Forma Urbis Romae*, ascrivibile al primo quarto del III secolo d.C., ritrovata per caso, intorno al 1562, in un orto di proprietà di Torquato Conti, vicino alla chiesa dei Santi Cosma e Damiano (Foro Romano); il recupero dei frammenti marmorei fu seguito da Giovanni Antonio Dosio, amico del Conti,

che intervenne fin dai primi giorni del ritrovamento (fig. 9). La pianta, che in origine doveva essere posizionata su una grande parete, l'unica oggi rimasta di un edificio pubblico ormai scomparso, identificabile col lato esterno della chiesa dei Santi Cosma e Damiano, misurava 44 piedi (ml 13) di altezza, per 61 piedi circa di larghezza (ml 18,10 ca.), raggiungendo quindi un totale di 2684 piedi quadrati (mq 235,3) di superficie incisa. Le dimensioni, il soggetto trattato e la qualità della rappresentazione fanno di quest'opera un documento di eccezionale portata storico-culturale: si tratta, infatti, della prima pianta iconografica di Roma pervenuta fino a noi, tracciata con criteri geometrici, in proiezione verticale, dopo una campagna di rilevamento urbano evidentemente assai accurata. Di essa resta sostanzialmente, oggi, poco più di un dodicesimo della superficie originaria, mentre le parti sicuramente identificate sono solo un ventesimo dell'intera area rappresentata (fig. 10). L'analisi dei frammenti, dal punto di vista della rappresentazione, ha portato a concludere che esistevano numerose convenzioni grafiche e simbologiche per raffigurare le diverse parti delle costruzioni (muri, scale, porte, colonne ecc.) (fig. 11). Il modo convenzionale di esemplificare gli edifici variava, però, in funzione della loro grandezza e destinazione: così i templi sono schematizzati mediante la vista del piano terreno o rialzato, gli archi e gli acquedotti sono caratterizzati dalla compresenza della pianta dei piloni e del ribaltamento degli archi ecc. Un altro documento singolare, esito

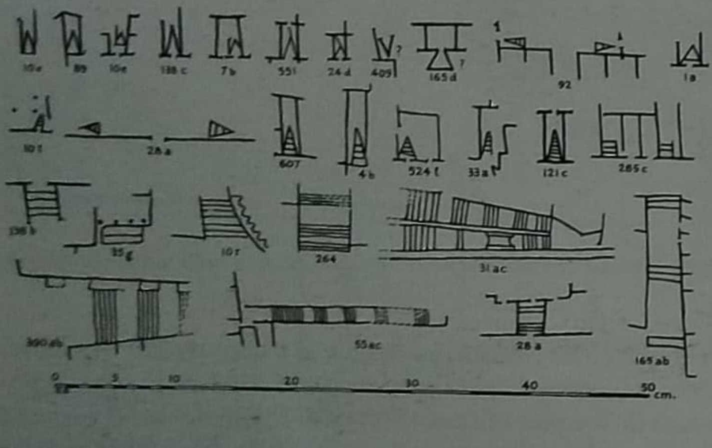


Fig. 11. Simbologia parziale delle scale e delle gradonate presenti nella *Forma Urbis Romae* (G. Cressedi).

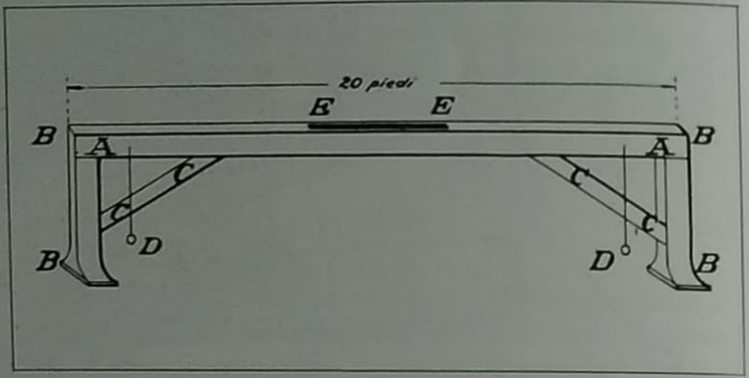


Fig. 12. Il *chorobates*, nella ricostruzione proposta dal Viviani (Q. Viviani, *L'architettura di Vitruvio*, Udine 1832): AA regula, BB ancones, CC traversaria, EE incavo (o alloggiamento per l'acqua).

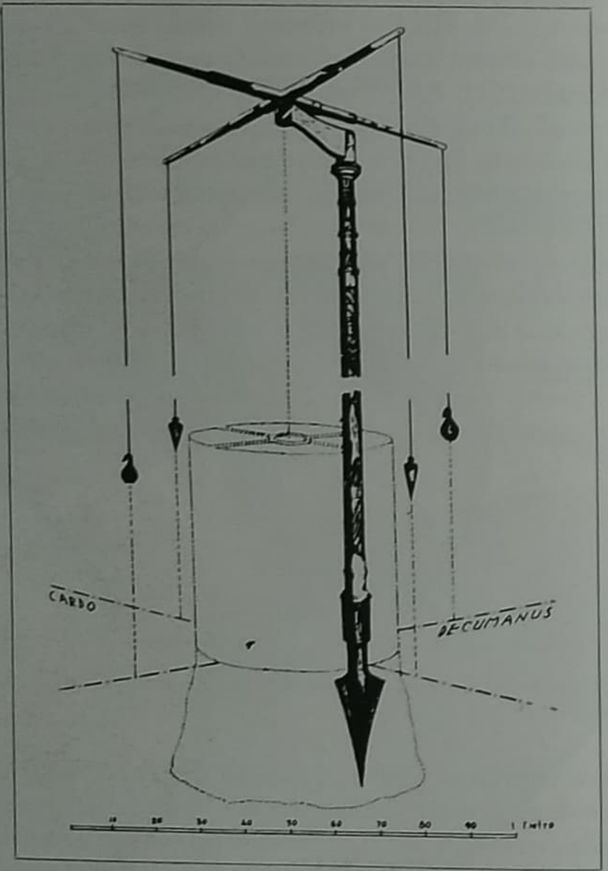


Fig. 13. La *groma*, nella ricostruzione proposta da M. Della Corte.

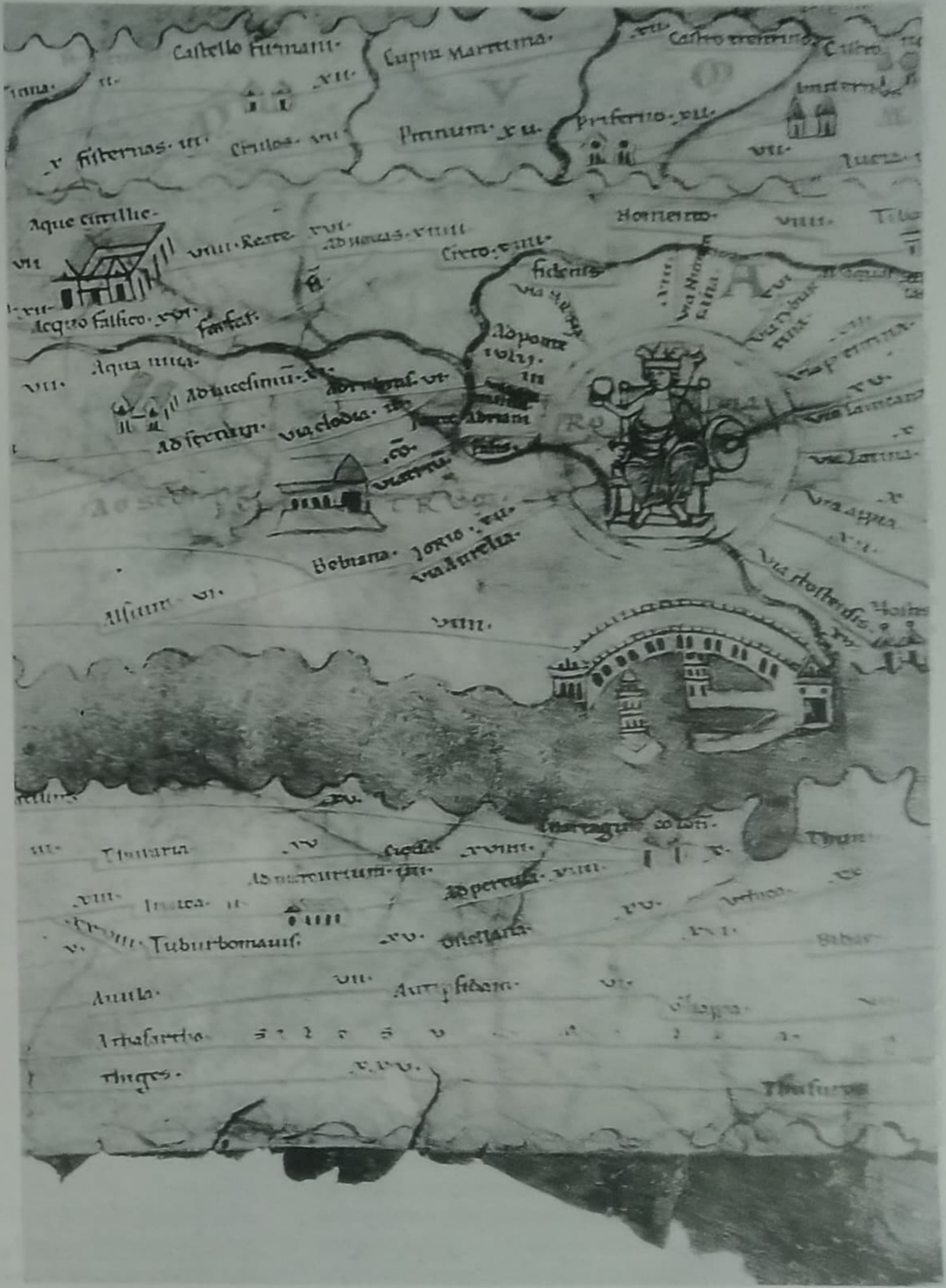


Fig. 14. Particolare del «Segmentum IV» (zona di Roma) della *Tabula Peutingeriana*.

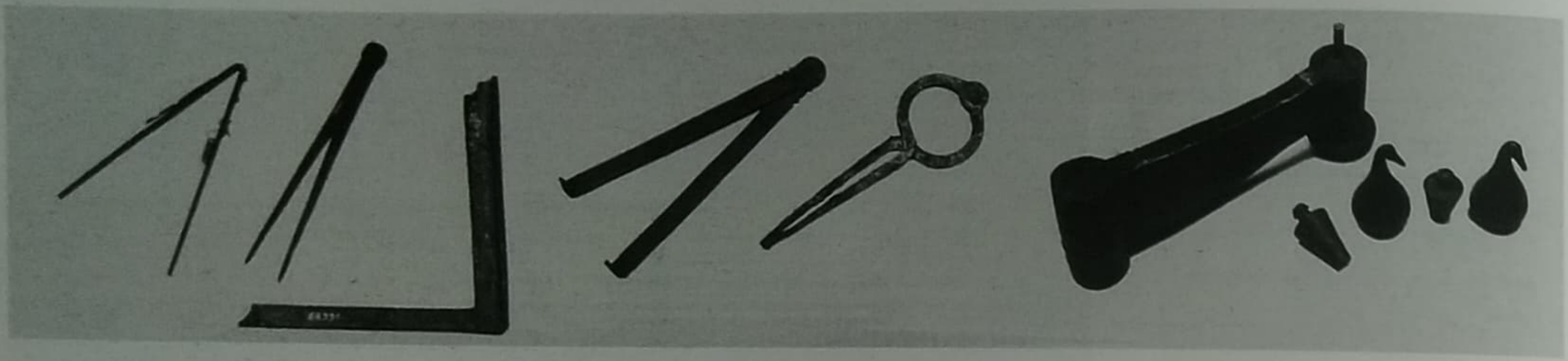


Fig. 15. Strumenti per disegnare e misurare trovati a Pompei.

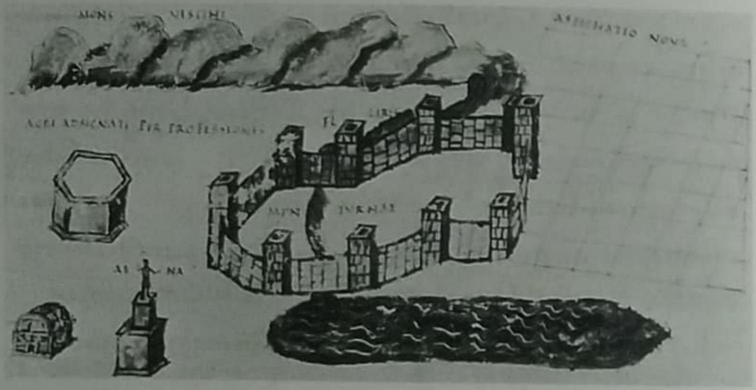


Fig. 16. La città di Minturno (Latina) e il territorio circostante, in una schematica raffigurazione del *Corpus Agrimensorum Romanorum*. A lato della città compaiono una centuriazione recente (*Assignatio Nova*) e alcuni elementi di difficile interpretazione.

della maestria degli agrimensori romani, è la cosiddetta *Tabula Peutingeriana* (fig. 14), costituita da ben undici fogli, collegati tra loro a formare una striscia alta 34 cm e lunga ben 682 cm, sui quali è raffigurato tutto l'Impero romano, dalla costa atlantica all'Africa, dalle regioni romane dell'Europa a buona parte dell'Asia. Il documento è ritenuto una tarda copia, forse del secolo XIII, di un originale riferibile al IV secolo d.C., che riporta non tutte, ma un gran numero di strade romane con l'indicazione delle distanze tra una località e l'altra, numerose città, le principali isole, le catene montuose e i più importanti fiumi, porti ecc. La strumentazione dei Romani comprendeva una serie di apparecchi per la misurazione diretta dei terreni, dei quali i più importanti sono la *dioptra* (traguardo per la verifica degli allineamenti), la *libra aquaria*, il *chorobates* (livella di precisione) (fig. 12), la *groma* (fig. 13), la *decempeda* (canna lunga 10 piedi), la *lychnia*, o *lampada*, lo *gnomone*, l'*archipenzolo* e altri apparecchi di più corrente uso, come la squadra, il compasso (vari tipi), le tavolette per prendere note, la *regula* (riga o anche *pes*, con relativi sottomultipli segnati sopra), il *perpendiculum* (filo a piombo), il *culter*, o stilo, per incidere sulla cera, e poi ancora *metae*, *signa*, *cannae* (paline varie, da usarsi con la groma) ecc. (fig. 15).

Il rilevamento dal V al X secolo

Sono piuttosto scarse le notizie sul rilevamento anche per quanto riguarda il lungo periodo che va dalla caduta dell'Impero romano fino a tutto il X secolo d.C., sebbene qua e là, talora a proposito di discipline affini, siano presenti frammenti scritti inerenti l'argomento in oggetto. Le nozioni relative al disegno e alle misurazioni, soprattutto territoriali, vengono raccolte in forma di trattati e successivamente di codici dagli agrimensori. Nello stesso tempo, alcune di queste cognizioni sono fatte proprie dagli ordini religiosi che, sia pur saltuariamente e in forma ridotta, le applicano nella sistemazione di terreni agricoli e di costruzioni varie. Di queste raccolte, la più nota è quella che va sotto il nome di *Codice Palatino* o *Corpus Agrimensorum Romanorum*, ascrivibile al VII secolo d.C., che comprende buona parte del sapere di epoca romana circa l'agrimensura (metodi per calcolare distanze e aree, per tracciare allineamenti, per misurare la larghezza di un fiume ecc.). Se da un lato la forte schematicità che informa i grafici del *Codice Palatino* (fig. 16), non consente, per ora, di formulare ipotesi fondate sul disegno di architettura e sul rilevamento in quel periodo, dall'altro però, avvalora la tesi che tra antichità classica e Medioevo non vi sia stata una

cesura netta prolungatasi nel tempo, bensì un'attenuazione più o meno forte dei fenomeni culturali antichi. La speculazione e la pratica relative all'architettura, alla geografia e alle misurazioni in genere interessano, poi, anche i Padri della Chiesa: Costantino d'Antiochia (metà del VI secolo d.C.), ad esempio, è autore di una *Topografia Cristiana*; san Girolamo (331-420 d.C.) nel suo *De situ et nominibus locorum Hebraicorum* tratta diffusamente di geografia (fig. 17), mentre sant'Agostino scrive di architettura, considerandola superiore alle altre arti.

A riprova di una certa continuità tra antichità e Medioevo nel settore generale del disegno, si può citare la pianta conservata nell'Abbazia di San Gallo in Svizzera, un documento di eccezionale importanza per la qualità della raffigurazione, per i concetti di misurazione e di grafica che sono alla base della sua stesura e per la sua rarità: si tratta di uno schema progettuale ideale per la fondazione di una comunità monastica, eseguito nella prima metà del secolo IX, copia di un originale di epoca carolingia, su pergamena e

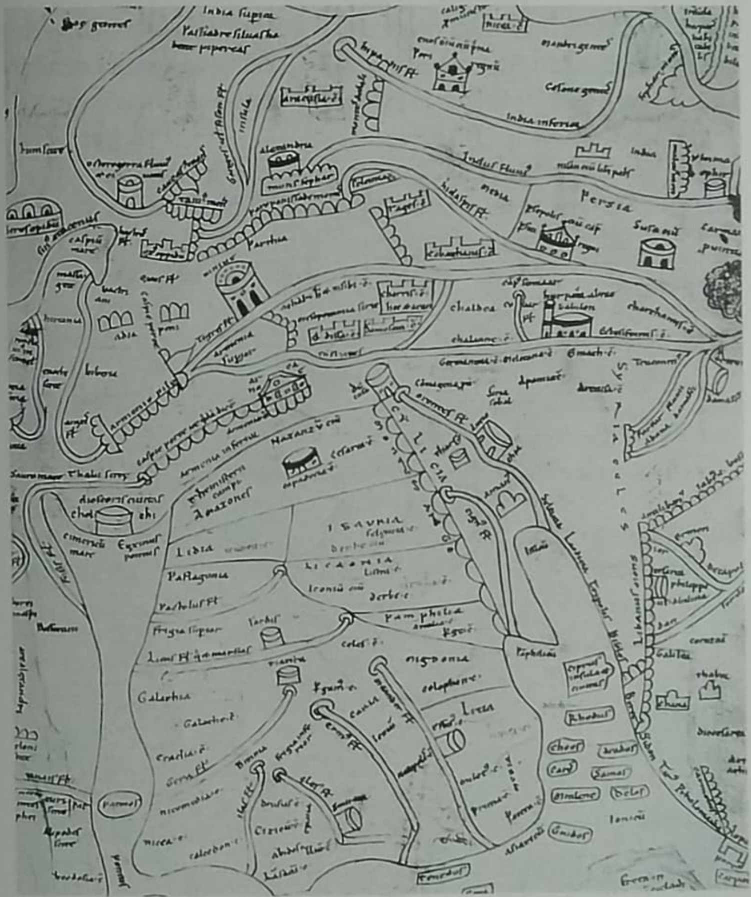


Fig. 17. Il Vicino Oriente, in un foglio della cosiddetta *Carta di San Girolamo*, contenuta in un manoscritto del secolo XII.

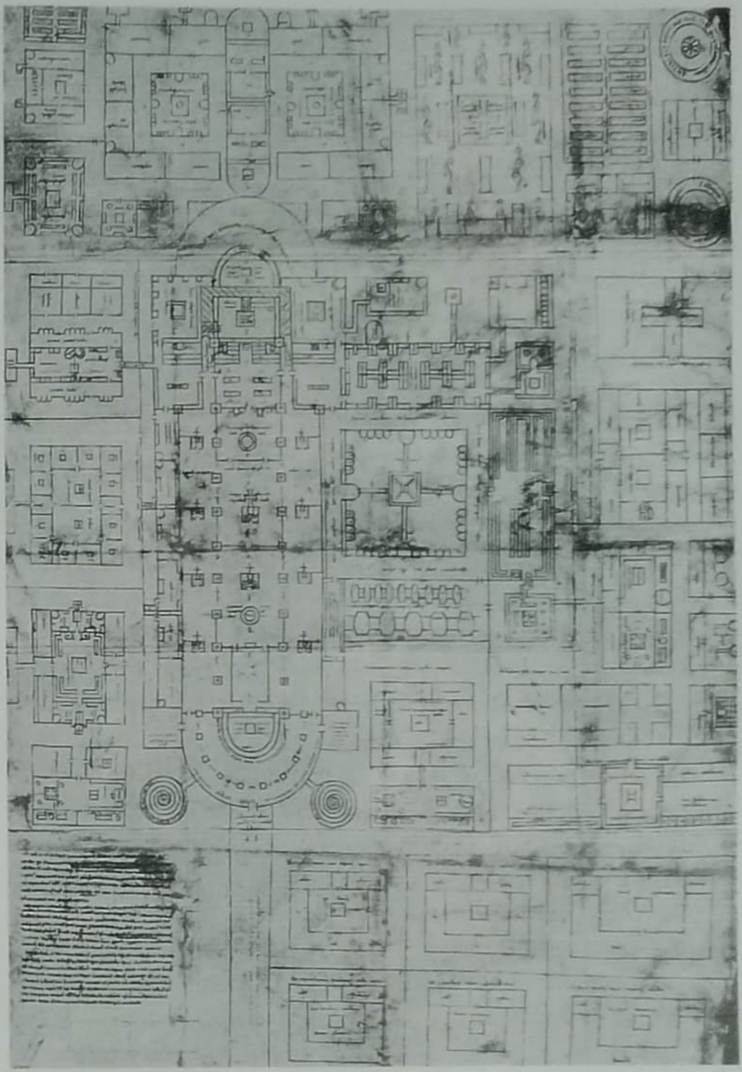


Fig. 18. Rappresentazione su pergamena (prima metà del secolo IX) del convento di San Gallo, in Svizzera, con la raffigurazione generale planimetrica del complesso: alcuni ambienti sono caratterizzati dall'arredamento interno; i chiostri, dal ribaltamento delle arcate dei passaggi perimetrali coperti; la zona a giardino, in alto a destra, dalla schematizzazione in prospetto degli alberi d'alto fusto.

con varie note esplicative a proposito di molti ambienti e delle aree esterne raffigurate (fig. 18). Si tratta di un grafico misto, che unisce parti edilizie in pianta con ribaltamenti, sul piano di rappresentazione, di elementi verticali, come nel caso del chiostro, posto al centro del complesso edilizio e alla destra della chiesa maggiore. L'intero organismo architettonico comprende oltre trenta strutture edilizie ed alcune zone a verde, una chiesa più grande e una minore per i novizi: il tutto disposto razionalmente attorno all'edificio principale.

Il Medioevo

Nei primi tre secoli dopo il 1000, progressi notevolissimi furono fatti in campo architettonico, in campo geografico e negli studi in generale, ad opera di varie personalità, in seguito alle prime crociate, al contatto con il mondo arabo, ai primi viaggi di missionari e di mercanti verso le più lontane terre d'Oriente, ma soprattutto a causa del ritrovato gusto per l'indagine e la speculazione intellettuale, unite alla progressiva presa di coscienza del valore dell'uomo e delle sue azioni e fomentate dalla rilettura delle opere dei classici greci e latini. La *Bibbia* di Farfa, attribuibile alla metà del secolo XI, conservata nella Biblioteca Vaticana, mostra sia la continuità della pratica del disegno rispetto ai secoli precedenti, sia il rinnovato interesse per la raffigurazione architettonica, nell'accuratezza di esecuzione e nella ricerca di un sia pur semplice codice grafico.

Tra la fine del secolo XII e l'inizio del successivo Leonardo o Leonardi Fibonacci (1170-1240) da Pisa scrive il *Liber abaci* e soprattutto la *Practica geometriae* (1220), opera teorica basilare per i successivi studi del primo Rinascimento, nella quale viene descritto, tra l'altro, un quadrante che poteva essere utilizzato come strumento d'agrimensura e, in genere, per rilevamenti topografici.

Agli Arabi, invece, spetta la costruzione di strumenti per misurazioni celesti, tra cui l'astrolabio piano (fig. 19) e un primordiale «sestante», mentre l'ebreo Levi Ben Gerson, attivo nella prima metà del secolo XIV, dimostrò che si potevano determinare tutti gli elementi di un triangolo mediante la proporzionalità diretta intercorrente tra i seni degli angoli opposti a due lati del triangolo stesso. Tale principio, pur diffusosi rapidamente, entrò tuttavia nella pratica del rilevamento di un territorio soltanto tre secoli dopo la sua enunciazione teorica.

Una pratica inerente il disegno di progettazione, che nel secolo XIII sembra già consolidata, è quella dei grafici di parti architettoniche a grandezza naturale, segnati e incisi su pietra, su pareti e su pavimenti, alcuni esemplari dei quali sono stati trovati in varie città della Gran Bretagna, della Francia e della Spagna. Senza dubbio, tuttavia, il documento più interessante, sia ai fini del rilevamento, sia per la conoscenza in generale della formazione e degli interessi dell'architetto nel periodo gotico, è il cosiddetto «taccuino», o *Livre de portraiture*, di Villard de Honnecourt, nato appunto, per quanto si sa, nella località presso Cambrai, nella Piccardia da cui prende il nome, e attivo intorno alla metà del secolo XIII: architetto dai molti interessi, attento ai vari problemi della tecnica costrutti-

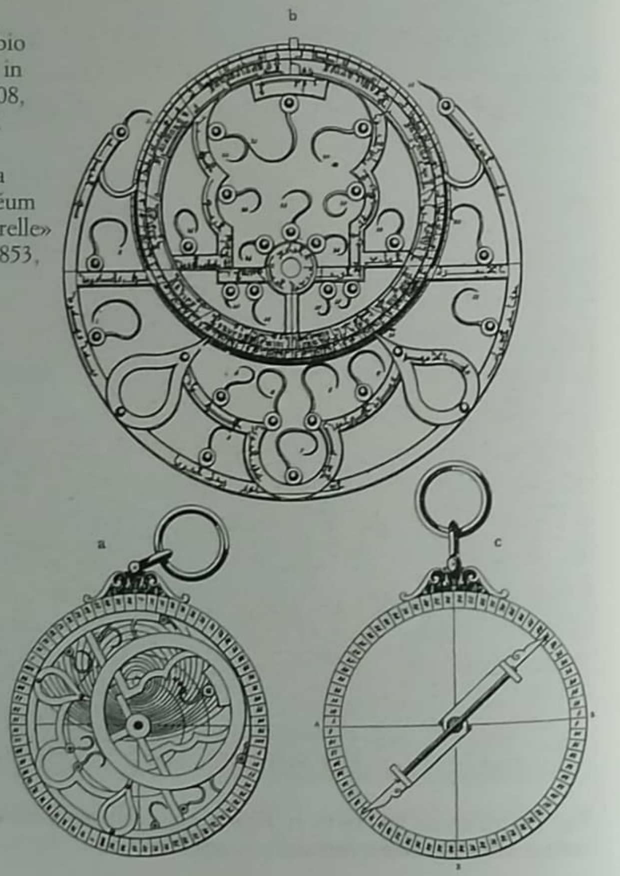


Fig. 19. Astrolabio arabo, costruito in Marocco nel 1208, pubblicato da F. Sarrus nei «Mémoires de la Société du Muséum d'Histoire Naturelle» di Strasburgo, 1853, IV.

va, della scultura nell'edilizia, delle macchine, alcune delle quali assai ingegnose, nonché ai problemi di misurazione e di rilevamento architettonico, non è abbastanza conosciuto per quest'ultimo aspetto della sua opera, mentre del suo taccuino di viaggio sono state studiate maggiormente le parti inerenti l'architettura, la grafica e la scultura. Quanto all'opera in questione, trattasi di una raccolta di 33 fogli pergamenacei rilegati a quaderno, ognuno di quali contiene una o più figurazioni, disparate per argomento oppure raggruppate fittamente allorché trattano di una medesima questione (geometria, tecnica edilizia ecc.), corredate da varie, sintetiche annotazioni o descrizioni delle figura in oggetto. La semplicità, e nello stesso tempo la sicurezza e la forza espressiva con cui le immagini sono tracciate e spesso impaginate, la varietà degli argomenti trattati e la proprietà di linguaggio grafico attestano che si è in presenza non di un primo esemplare, unico nel suo genere, ma forse del solo soggetto rimastoci di una produzione più vasta, frutto di un'esperienza largamente diffusa nella prima metà del secolo XIII.

In particolare, la maggior parte dei fogli presenta figure di santi, di personaggi vari, di animali, di insetti, di elementi decorativi, mentre un numero decisamente minore di essi tratta di architettura, di congegni per orologi e di altri macchinari, di rilevamento architettonico e di tecnica costruttiva. Dovendo il taccuino costituire, oltre che una raccolta di appunti e di osservazioni di vario genere, una specie di manuale, di prontuario, con il quale risolvere molti dei problemi incontrati dall'architetto nella pratica quotidiana, i disegni sono tracciati a «fil di ferro», senza ombreggiature ed in modo semplice e comprensibile. La funzione strumentale dell'opera è piuttosto evidente: all'autore interessa fissare sulla pergamena un dettaglio decorativo, un particolare architettonico, una costruzione geometrica ecc., da utilizzare all'occorrenza. In relazione allo scopo precipuo di questo studio, le tavole più rimarchevoli sono la XXIX, la XXXIX e la XL: la prima di esse mostra i rilevamenti di due zone

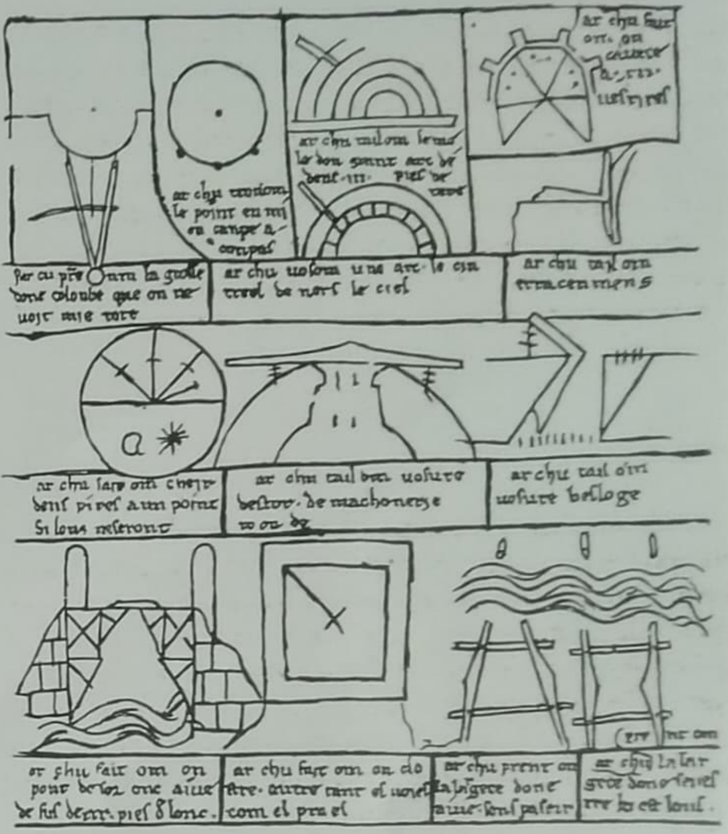


Fig. 21. Villard de Honnecourt. Appunti costruttivi, sistemi di misurazione, delineazione di archi di varie forme e determinazione della larghezza di un fiume e di una finestra al di là di un fiume, senza attraversare il corso d'acqua stesso.

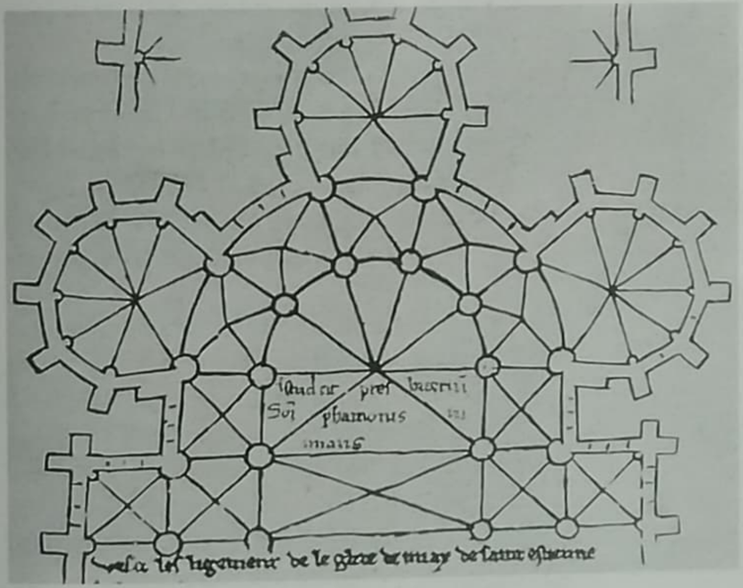


Fig. 20. Villard de Honnecourt. Rilevamento della zona absidale della cattedrale di Santo Stefano a Meaux.

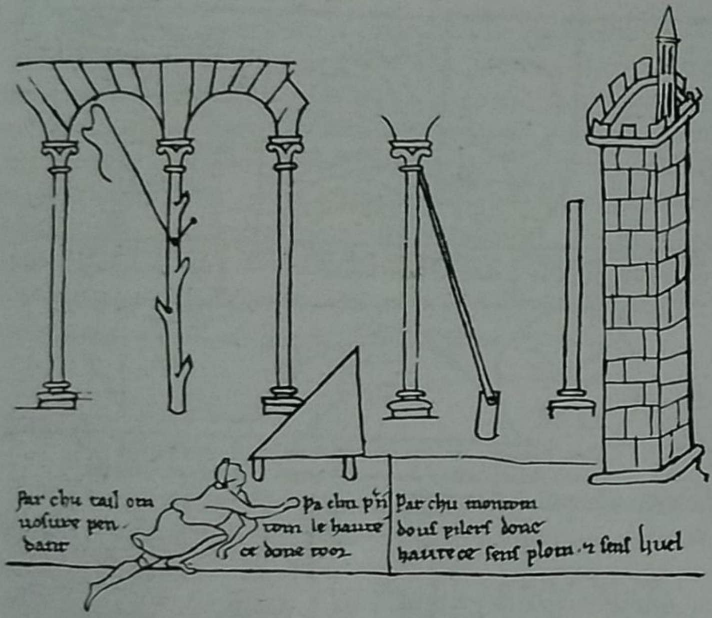


Fig. 22. Villard de Honnecourt. Accorgimenti per tracciare e montare il sostegno comune a due archi, per innalzare due colonne della medesima altezza, senza far uso di filo a piombo e livella, e per determinare, mediante il sistema dei triangoli simili, l'altezza di una torre.

absidali, eseguiti da Villard de Honnecourt in collaborazione con Pierre de Corbie, nei quali sono indicati anche gli spessori murari e la posizione delle nervature delle volte (fig. 20); la seconda costituisce, invece, un prontuario per rilevare dettagli architettonici, per ben eseguire archi e finestre particolari, per tracciare correttamente la figura di un chiostro, per individuare la larghezza di una finestra inaccessibile e per determinare la larghezza di un fiume senza accedere alla sponda opposta (fig. 21); la terza, infine, indica vari modi per determinare l'altezza di un fabbricato, per sostituire colonne in un edificio ecc. (fig. 22). L'importanza del taccuino risiede, dunque, non tanto nella qualità dei disegni in esso riportati, quanto nella possibilità da esso offerta di conoscere il bagaglio tecnico-culturale proprio dell'architetto del periodo gotico, i dati che sono alla base della sua formazione, le matrici scientifiche e geometriche più o meno antiche del suo lavoro, riscoperte in parte tramite la cultura araba, diffusasi in Europa dalle città spagnole soprattutto nei secoli XI e XII.

Il Rinascimento

Fu tanto vasta, e spesso accurata, l'opera di rilevamento di edifici antichi compiuta dagli architetti e dagli artisti nei secoli XV e XVI, che di molti organismi architettonici di epoca romana, ora scomparsi o assai mal ridotti, restano appunto solo i disegni: è il caso, ad esempio, del teatro di Ferento o del tempio di Castore e Polluce a Cori, del quale rimane una documentazione grafica quasi completa, costituita da una pianta, da un prospetto e da un fianco, corredati da annotazioni e misure.

È noto che tutto il Rinascimento può considerarsi suddiviso, per quel che riguarda il rilevamento degli edifici antichi, in tre fasi: la prima, caratterizzata da un disegno di tipo soggettivo; la seconda, contraddistinta da grafici più oggettivi; la terza, basata su elaborati di tipo scientifico, utilizzati per ulteriori ricerche sulle proporzioni e sull'architettura in genere. In realtà, la differenza fra le tre fasi è meno profonda, concettualmente, di quanto possa sembrare a prima vista. Per tutto il periodo rinascimentale, infatti, il disegno di oggetti e resti architettonici antichi fu considerato in funzione della conoscenza e acquisizione di dati planimetrici, volumetrici, tecnologici e costruttivi, onde appropriarsi di un nuovo e più metodico modo di «fare architettura», mentre più volte appare di secondaria importanza l'interesse specifico per l'edificio in sé.

La prima fase documentata del rilevamento architettonico nel secolo XV[4] si apre con le personalità di Filippino Lippi (1457-1504), di Piero della Francesca (1410-1492), di Domenico Corradi, detto il Ghirlandaio (1451-1495), e di Francesco di Giorgio Martini (fig. 23), attivi tra la metà e l'ultimo quarto del secolo XV, cui sono da affiancare altri artisti rimasti anonimi[5].

Lo studio e la misurazione degli edifici antichi vengono eseguiti, in questo periodo, prevalentemente a vista, senza l'uso sistematico di strumenti, senza un fine istituzionale o divulgativo, ma a scopo individuale e contingente di studio. I disegni su carta sono redatti con segno uniforme, lineare e rappresentano schemi planimetrici, viste prospettiche, spesso senza l'apposizione di alcuna misura o, al massimo, con qualche indicazione sulle dimensioni principali.

Col maturare delle esperienze nel disegno, nei sistemi di misurazione e nello studio delle antichità classiche, il concet-

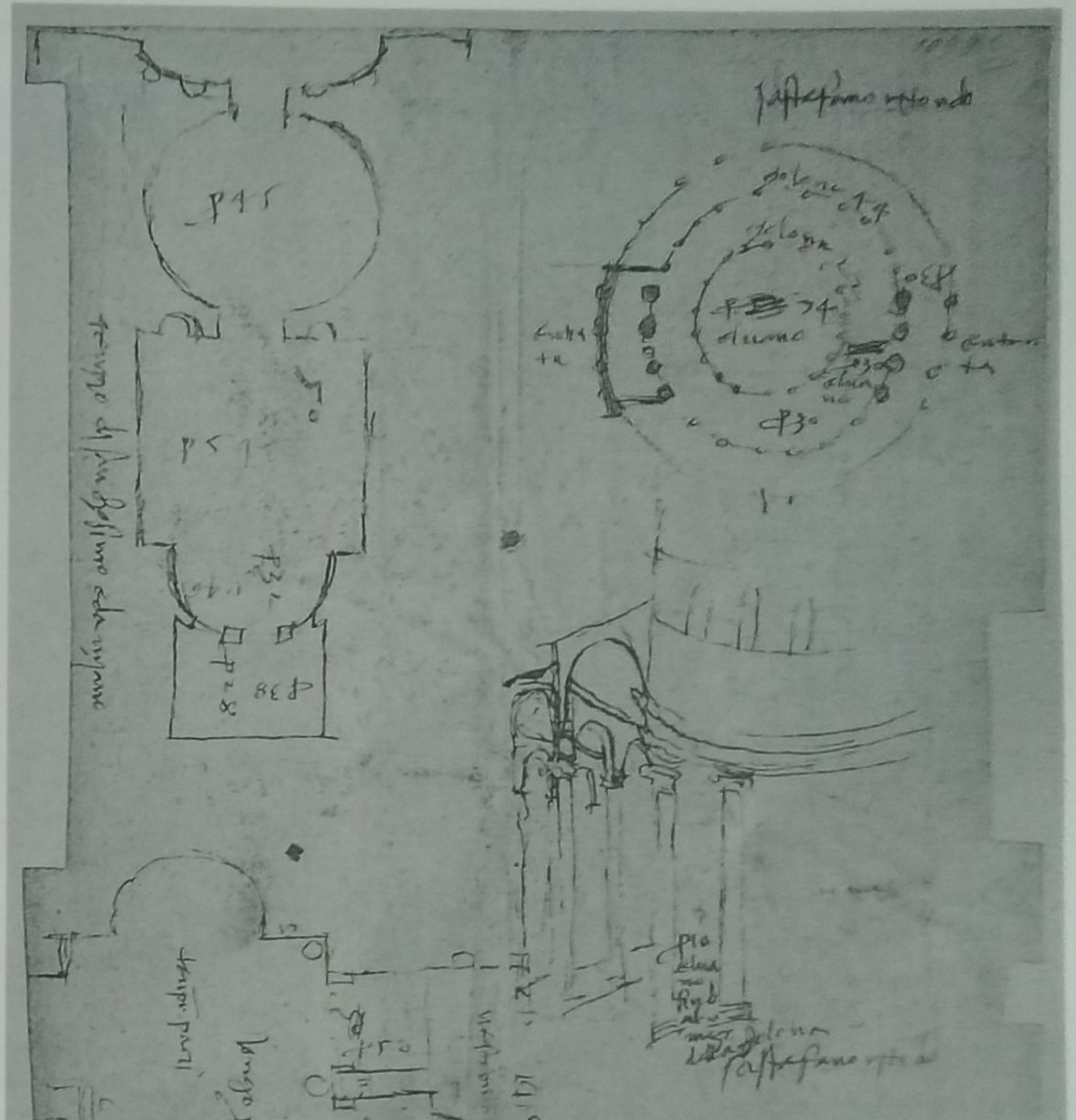


Fig. 23. Francesco di Giorgio Martini. Appunti di edifici antichi di Roma: chiesa di Santo Stefano Rotondo, tempio della Pace e chiesa dei Santi Cosma e Damiano.

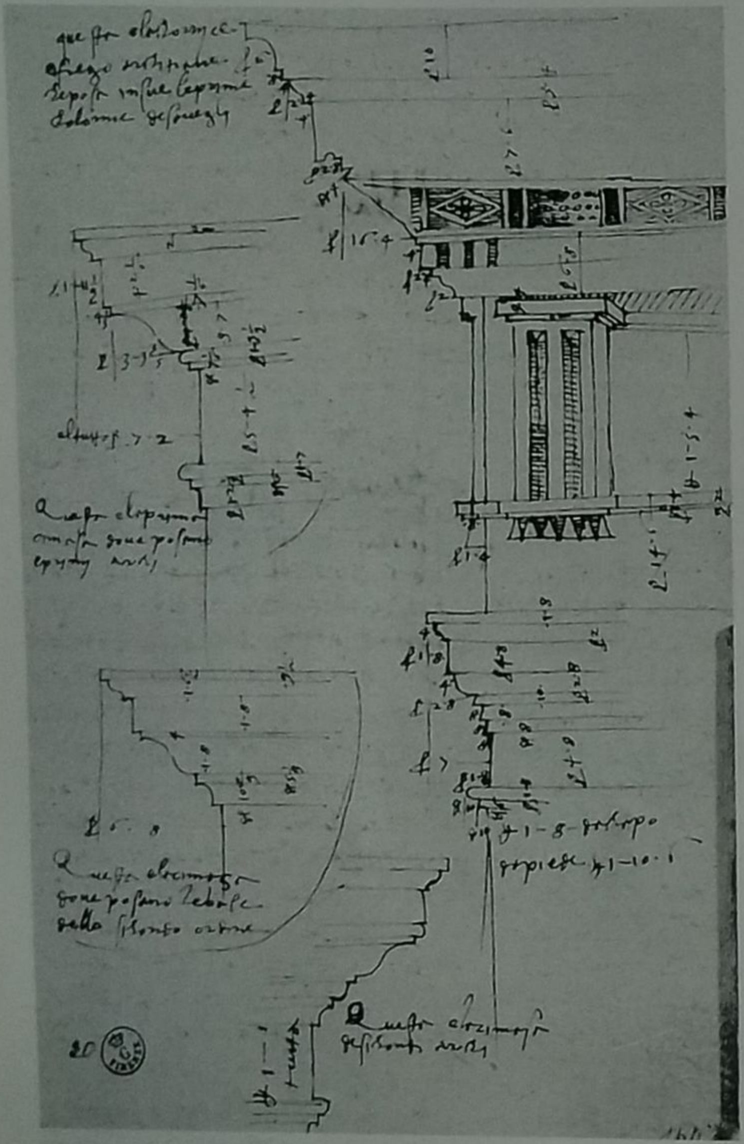


Fig. 24. Antonio da Sangallo il Vecchio. Roma, teatro di Marcello. Trabeazioni varie e particolari architettonici. Oltre alla meticolosità con cui sono indicate anche le più piccole misure dei dettagli, sono da rilevare la quantità dei grafici e le note di commento o spiegazioni dei vari disegni.

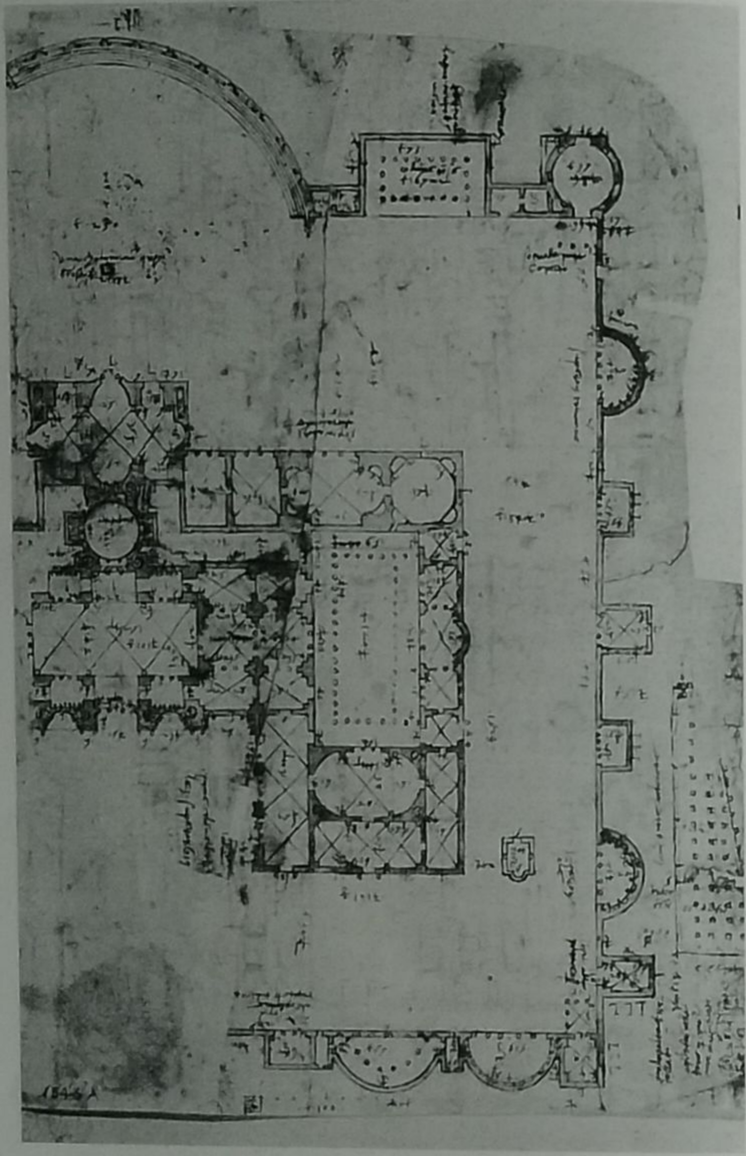


Fig. 25. Giuliano da Sangallo. Roma, metà pianta delle Terme di Diocleziano.

to di rilevamento viene modificato, già nell'ultimo quarto del secolo XV, da artisti nati intorno alla metà di quel secolo. Tra essi sono da ricordare Antonio da Sangallo il Vecchio (1455-1534) (fig. 24), Giuliano da Sangallo (1452-1516 o 1517) (fig. 25), Giovanni Monsignori, detto fra' Giocondo (1433 o 1435-1515) (fig. 26), Francesco Lazzari, più noto come Donato Bramante (1444-1514), e Simone del Pollaiolo, detto il Cronaca (1454-1509) (fig. 27). Nonostante le sostanziali differenze fra autore e autore, si possono cogliere, nelle opere da essi prodotte tra il secolo XV exeunte e i primi anni del successivo, alcuni elementi comuni: l'attenzione, oltre che agli schemi planimetrici, è rivolta anche ai prospetti e ai det-

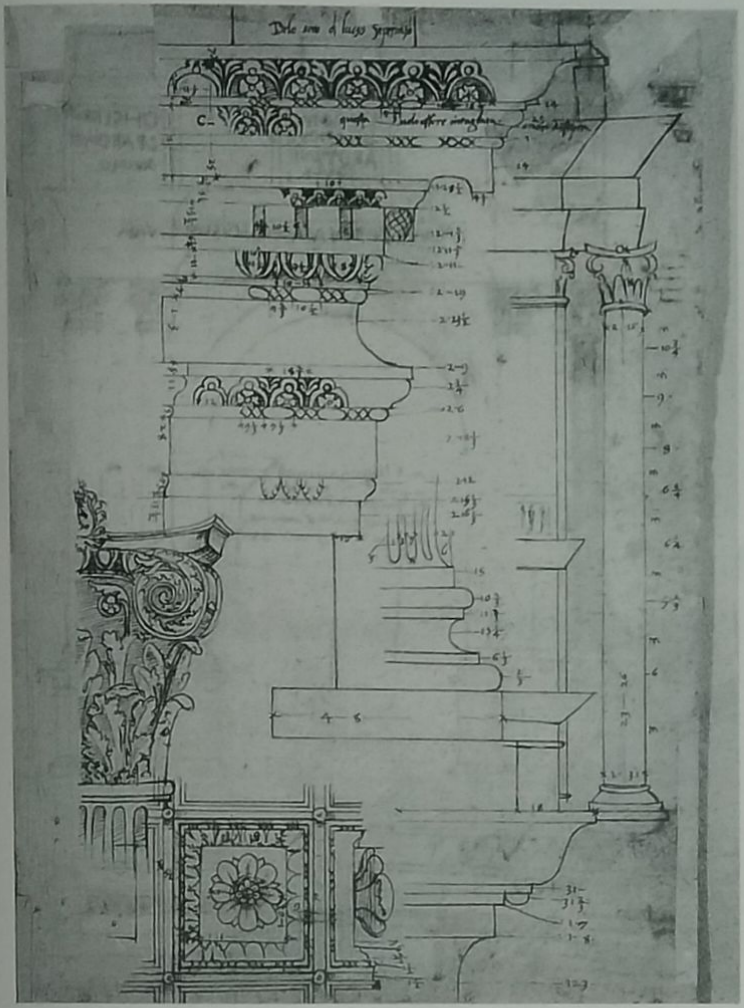


Fig. 26. Giovanni Monsignori (detto fra' Giocondo). Disegni di elementi antichi.

tagli architettonici; i grafici si arricchiscono di quote, di parti misurate e di qualche sintetica annotazione, mentre gli edifici vengono, a volte, in alcune parti, «interpretati»; acquista importanza la stesura «in pulito» degli appunti di campagna, così come lo studio degli organismi architettonici si fa più rigoroso; la ricerca si rivolge spesso a settori prestabiliti e congeniali alla personalità dell'artista, mentre la pratica del rilevamento è sentita come fattore indispensabile alla formazione professionale e culturale; l'amore per l'antico aumenta ancora e i monumenti romani offrono occasione e stimolo per esercitazioni culturali, per taluni, a puro scopo teorico, per altri, con evidente carattere pratico.

La disciplina in oggetto è ancora intesa, però, quale elemento di studio personale, e come tale eseguito, vale a dire con una forte componente interpretativa. Pur essendo molto considerate sia l'osservazione, sia l'individuazione delle caratteristiche formali e strutturali di ciascun edificio preso in esame, prevale, nella stesura dei grafici, un tipo di ricerca spaziale e formale, i cui risultati possano essere utilizzati successivamente nelle fabbriche nuove. Rilevare, dunque, non significa tanto acquisire una conoscenza specifica dell'edificio prescelto o compiere un'indagine in vista di futuri interventi o procurarsi una documentazione a proposito di un'opera, ma costituisce fonte indispensabile di sapere per il «costruire moderno».

Per quanto attiene allo studio grafico degli edifici antichi, risulta emblematica la produzione di Giuliano da Sangallo: molti suoi elaborati sono in prospettiva centrale e indicano lo stato di conservazione, le parti crollate e le misure principali dell'organismo architettonico in questione; a volte, di un edifi-

Fig. 27. Simone del Pollaiolo (detto il Cronaca). Roma, veduta del Palatino verso il Circo Massimo. Il carattere e la ricerca della realtà ambientale circostante gli edifici del monte Palatino, tra cui il famoso Septizodium (l'organismo a sette arcate presente sulla destra, guardando l'immagine), differenzia questo disegno dalla più nota produzione del Pollaiolo, concernente particolari architettonici e ricostruzioni o completamenti di edifici antichi.

cio sono disegnati la pianta e il prospetto; altre volte, al prospetto generale sono aggiunti dettagli di cornici e trabeazioni in «assonometria». Di taluni monumenti, poi, esistono la pianta e un'ipotesi ricostruttiva. Giuliano da Sangallo ama disegnare soprattutto organismi a pianta centrale, polilobati o cruciformi all'interno, mentre l'amore per il dettaglio si esplica, in lui, nella raffigurazione di trabeazioni e capitelli a piena pagina. È importante notare come egli volga l'attenzione non solo alle architetture classiche, ma anche a quelle eseguite dal Medioevo in poi, cosicché tra i suoi grafici si trovano quelli inerenti la Torre di Pavia, quelli del Mausoleo di Teodorico a Ravenna, del tempietto di San Pietro in Montorio a Roma, della chiesa di San Giovanni a Bologna, della chiesa di Santa Liberata a Firenze e, in particolare, della Torre degli Asinelli a Bologna, redatti, questi ultimi, in scala e con le misure in bracci fiorentini.

Lo studio dei monumenti antichi diviene via via più rigoroso, metodico, obiettivo, estrinsecandosi nella diversità di interpretazione, in relazione al fine che il rilevatore si propone. Il problema della rappresentazione di parti non visibili viene affrontato da un numero sempre maggiore di studiosi, non solo per amore della ricerca archeologica, ma proprio ai fini di una completa ed attendibile conoscenza dell'organismo architettonico. I principali artefici di questo nuovo atteggiamento nei confronti della disciplina in oggetto sono Baldassarre Peruzzi, Antonio da Sangallo il Giovane, Giovanni Antonio Dosio, Silvestro (detto Sallustio) Peruzzi, Bastiano (detto Aristotele) da Sangallo e il fratello di lui, Giovan Francesco. In particolare, svolse una cospicua e approfondita opera di rilevamento, tanto di edifici antichi, quanto di fabbriche moderne, Baldassarre Peruzzi (1481-1536), pittore e architetto senese, che viaggiò molto, specie tra il 1509 e il 1522, ed ebbe modo di disegnare edifici di Roma, Bomarzo, Ferento, Todi, Gaeta, Capua, Formia, Benevento, Narni, Spoleto ecc. (fig. 28). Di alcuni monumenti di epoca romana egli eseguì i disegni, traendoli da rilievi altrui, come avvenne per l'anfiteatro e per altri edifici di Verona e per l'arco di Traiano ad Ancona. Molti grafici, raccolti in un taccuino di viaggio, sono stati da lui eseguiti a mano libera, sul posto, e corredati delle quote dei principali elementi costruttivi, come pure di note esplicative inerenti i materiali adoperati.

La versatilità e l'amore per il disegno furono ben evidenti anche in Antonio da Sangallo il Giovane (ca. 1485-1546) fin dalla giovinezza, così come la capacità organizzativa e la rapidità nel comprendere e nel risolvere qualsiasi tipo di problema architettonico. Viaggiatore indefesso, non cessò mai, ovunque si recasse, di eseguire disegni e di interessarsi di antichità (fig. 29). La sua produzione desta ancor oggi meraviglia per la qualità e la quantità di grafici eseguiti. La varietà dei suoi interessi culturali lo portò a fissare sulla carta i temi più disparati: det-

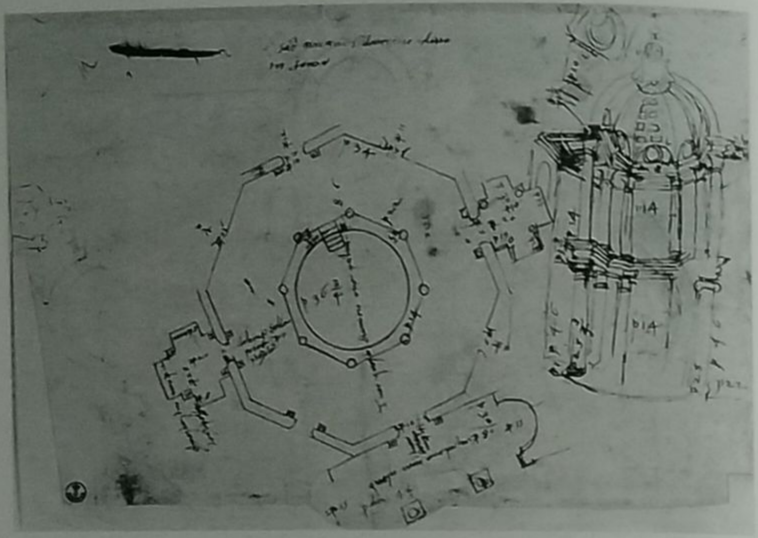


Fig. 28. Baldassarre Peruzzi. Roma, Battistero di San Giovanni in Laterano.

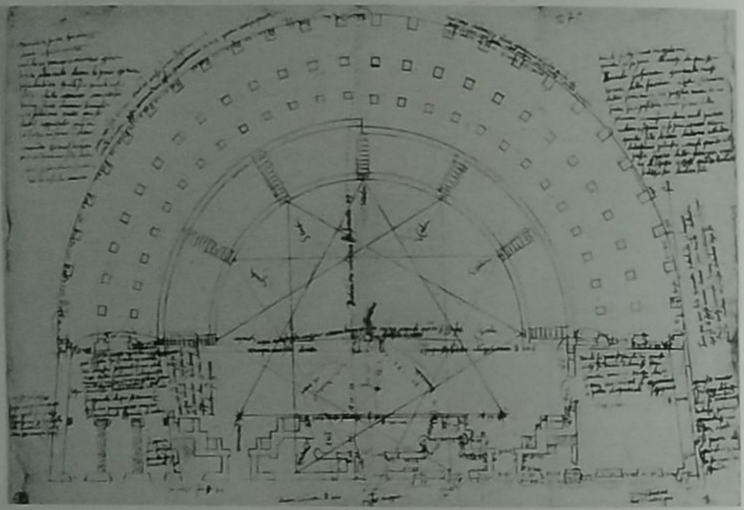


Fig. 29. Antonio da Sangallo il Giovane. Ferento (Viterbo), teatro romano. Pianta generale con note e quote descrittive. Interessante lo schema geometrico a stella, derivante dal disegno dei quattro triangoli isosceli che hanno i vertici in punti caratteristici della cavea e della scena.

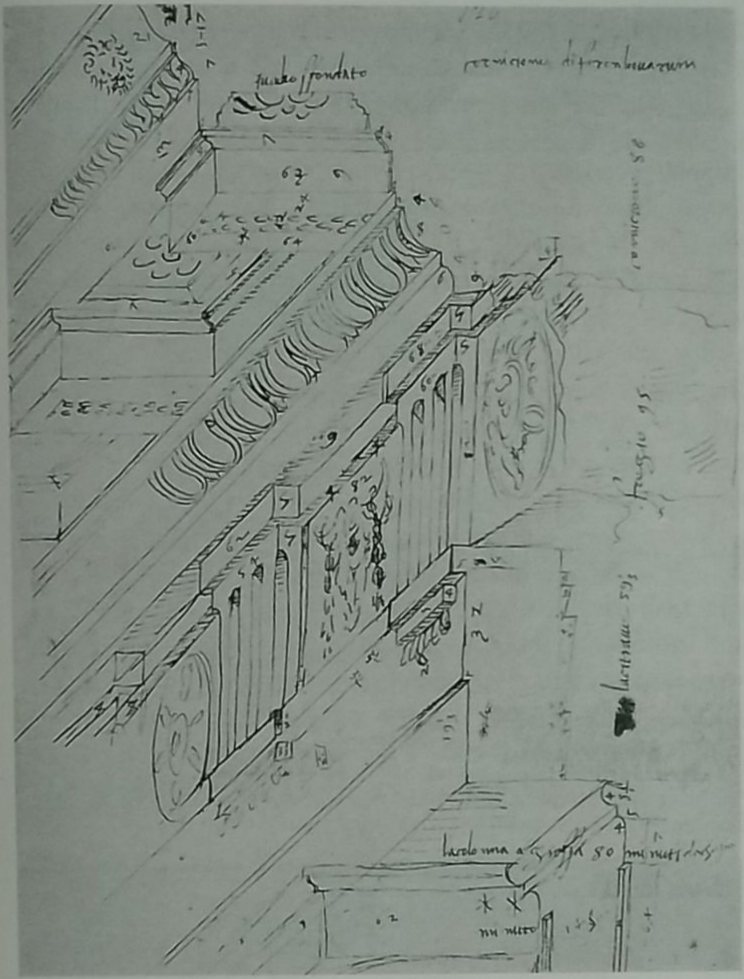


Fig. 30. Antonio da Sangallo il Giovane. Dettaglio di trabeazione antica. In un unico disegno, in sorta di «assonometria cavaliera» *ante litteram*, vengono riportate le tre dimensioni atte a definire compiutamente i particolari architettonici e la loro decorazione sulle varie facce.

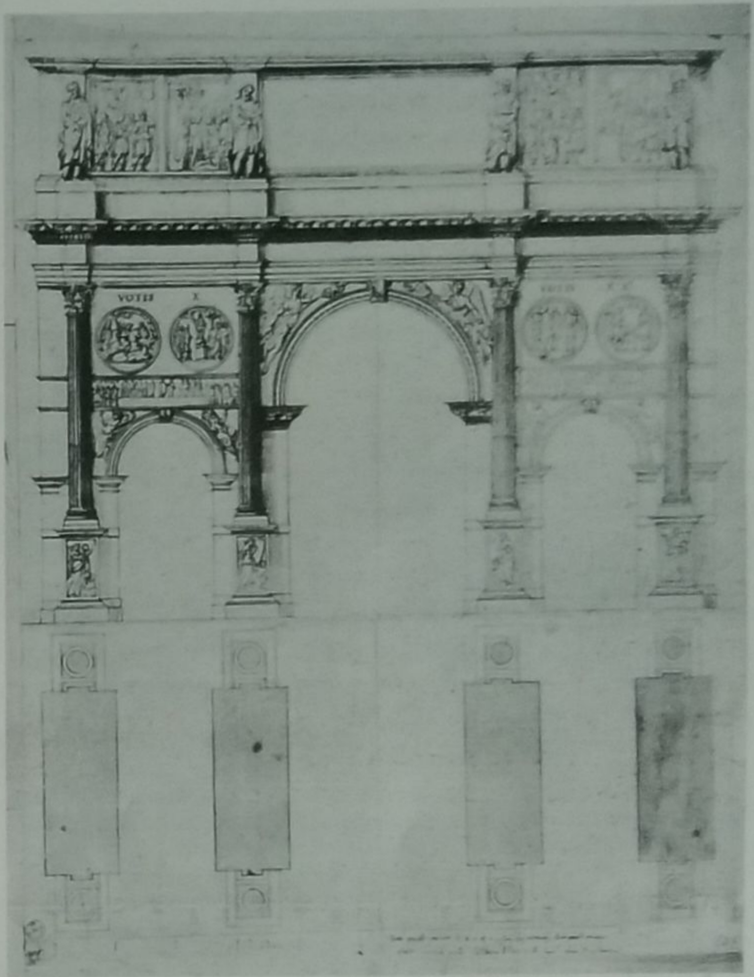


Fig. 31. Giovanni Antonio Dosio. Roma, arco di Costantino. Il Dosio, di cui è nota la passione per l'archeologia, passa con estrema disinvoltura dalla rappresentazione del singolo elemento architettonico, alla raffigurazione dell'intero organismo e all'immagine dell'ambiente urbano.

tagli architettonici, capitelli, colonne, trabeazioni, edifici antichi ecc., studiati in tutti i particolari, vere e proprie composizioni d'immagini, valide di per sé, anche indipendentemente dalla loro collocazione nell'ambito di un edificio (fig. 30).

Il rilevamento architettonico acquista nuove valenze e nuove caratteristiche con Giovanni Antonio Dosio (1533-1609), scultore ed architetto, di San Gimignano. La sua formazione di «bottega», la collaborazione con studiosi di antichità, la passione per le cosiddette anticaglie e per l'architettura classica e moderna lo portano a rivedere radicalmente diversi aspetti del rilevamento (fig. 31). Nei disegni di campagna, così come nei grafici in pulito, egli opera infatti con intendimenti scientifici, sia nell'interpretazione del dato reale, sia nella misurazione e nella restituzione grafica delle opere.

Personalità di rilievo furono pure Giorgio Vasari il Giovane, Giovanni Maria Falconetto, Sebastiano Serlio (fig. 32), Giacomo Barozzi, detto il Vignola (fig. 33), e Andrea di Pietro dalla Gondola, detto il Palladio (1518-1580). In quest'ultimo, la fusione tra studio dell'antico e operatività pratica dell'architetto si arricchisce di nuovi motivi e si fa più complessa: l'ar-

quanto si andava perfezionando erano infatti costanti e sentiti come condizione indispensabile per un corretto operare. Così, intorno al 1450, forse, Giorgio di Peuerbach inventa il «quadrato geometrico», capace di fornire le distanze e le altezze col metodo dei triangoli proporzionali (fig. 36a,b,c); nel 1527 Oronce Finé pubblica un'opera sul quadrante[7], nella quale indica ben 57 applicazioni, astronomiche e geometriche, dello strumento; in Italia, il Tartaglia studia un particolare congegno, che sta tra il quadrante e il quadrato geometrico, detto pantometro-telemetro, il quale, utilizzando il principio del triangolo rettangolo, serviva a calcolare con rapidità le distanze tra i vari luoghi; lo squadro agrimensorio è descritto primieramente da Francesco Feliciano da Lazesio[8] (o da Lazise) in un'opera pubblicata nel 1527 e più volte ristampata, mentre più tardi lo stesso strumento fu oggetto di studio da parte di Nicolò Tartaglia, di Girolamo Cataneo e di Giovanni Pomodoro[9]. Verso la fine del secolo XVI vi fu, invece, un periodo di inconsueta attività divulgativa, volta a far conoscere a un maggior numero di persone gli apparecchi già in uso, perfezionati, e altri di nuova invenzione. Uno degli strumenti che risultò notevolmente migliorato fu il quadrante (detto inglese o di Davis[10], dal suo inventore, il quale lo presentò nel 1594), che univa i vantaggi del quadrante comune a quelli del baculo o balestriglia. Vale la pena di ricordare, inoltre, anche il trigometro, strumento assai versatile e utile, per la invenzione del quale Philippe Danfrie trasse forse l'idea dall'olometro di Abele Ful-

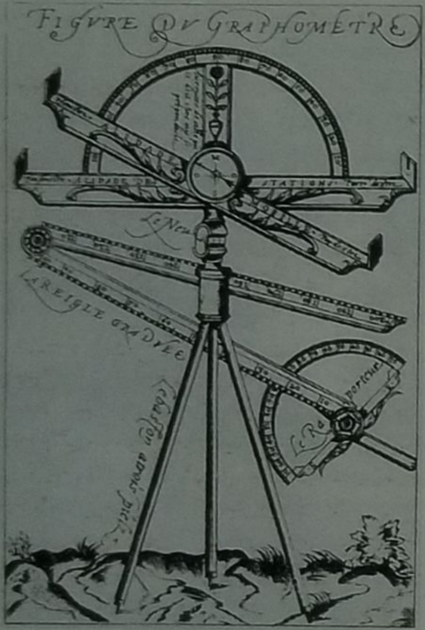
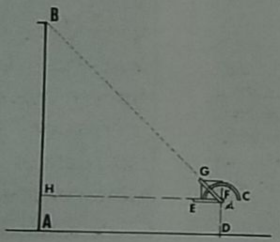


Fig. 37. Philippe Danfrie (1597). Grafometro.

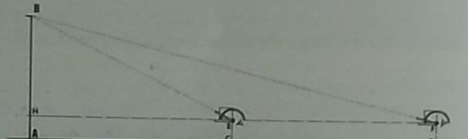
Fig. 38a,b,c. Squadra zoppa e suo uso.
La squadra zoppa (o mobile), era costituita, nella sua forma seicentesca, da un semicerchio metallico graduato in 180°, da un quarto di cerchio ancorato al semicerchio, su cui era segnata una scala altimetra di 60 parti per lato, da una linda (o alidada) con traguardi, fissa in corrispondenza del diametro del semicerchio, e da un'altra alidada incernierata nel centro del semicerchio stesso. La squadra zoppa, analogamente alla bussola topografica, era impiegata per rilevare terreni o elementi architettonici mediante la misurazione di angoli.
a) Uso della squadra zoppa di Ottavio Fabbri (1598).
b) Schema geometrico per la determinazione delle altezze di edifici avvicinabili. Volendosi, ad esempio, rilevare l'altezza AB di una torre posta su un terreno pianeggiante, la cui base sia raggiungibile, si pone l'alidada fissa orizzontalmente e ci si scosta, o ci si avvicina, alla torre, fino a quando la sommità della stessa sia allineata con l'alidada mobile posta a 45° del cerchio graduato (diagonale del quadrante con la scala altimetra). Per avere l'altezza della torre, basterà allora misurare la distanza AD, uguale al segmento BH, ed aggiungervi la quota FD.
c) Schema geometrico per ricavare l'altezza di una torre, senza avvicinarsi alla stessa. Quando la torre non sia raggiungibile, si ponga lo strumento nella posizione C, si traguardi la sommità della torre con l'alidada mobile e si osservi quante parti vengono tagliate sulla scala altimetra (normalmente, in questi casi, l'asta verticale, detta dell'ombra volta, o versa; quella orizzontale si diceva, invece, dell'ombra retta o diritta), e poi quante volte questa cifra, ad esempio 30, entri nel tutto (60 parti), e si segni tale numero, che in questo caso è 2. Si faccia quindi stazione nel punto D, posto a distanza tale che la sommità della torre si veda con l'alidada mobile in posizione tale da segnare 15 parti nell'ombra volta, o versa, e si controlli quante volte tale cifra stia nel 60. In questo caso, 4 volte; si tolga da questa cifra il 2, ricavato nella prima osservazione, si divida la distanza CD delle due stazioni per il restante 2 e, al risultato, si sommi l'altezza dello strumento per avere la misura cercata AB (prima ombra volta) 4 – 2 (seconda ombra volta) = 2; se la distanza tra C e D è di 60 piedi, si ha 60 : 2 = 30 + FD (altezza dello strumento) = AB.

a



b

c



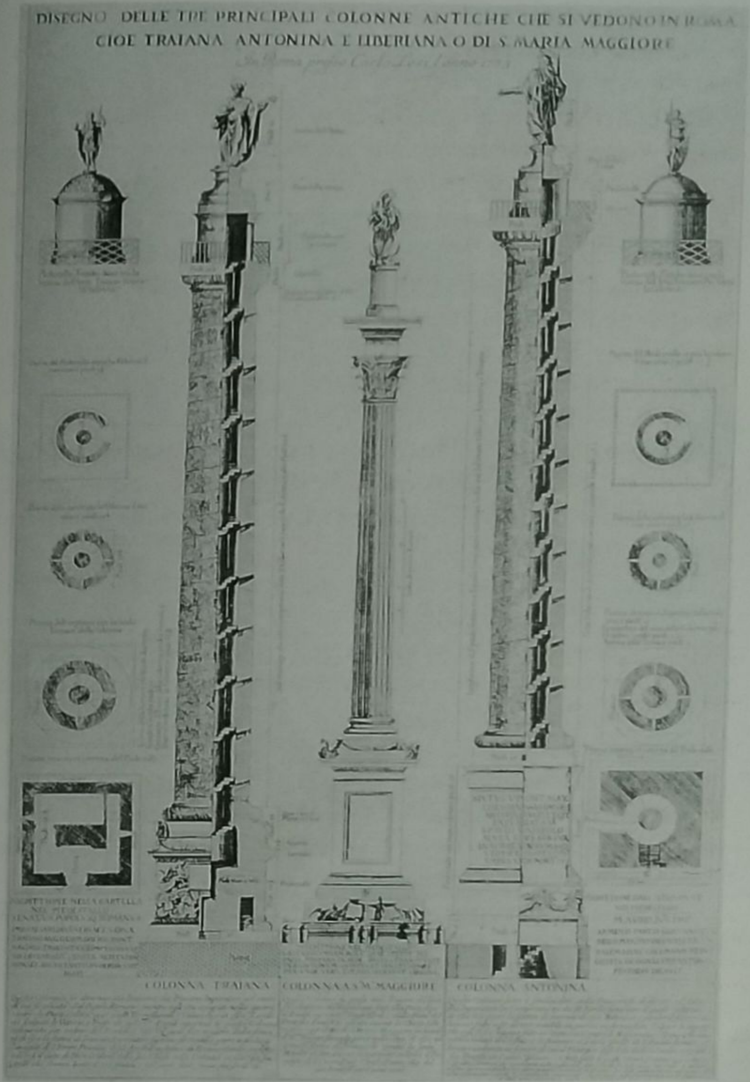


Fig. 39. Le principali colonne romane in un'incisione dei primi del '600. L'attenzione dei rilevatori si volge, in questo secolo, ai vari aspetti dell'architettura e della scultura classiche. La rappresentazione delle due colonne più famose, quella Traiana e quella Antonina, è quanto mai ricca e comprende piante a varie quote, prospetto e sezione. Da notare che le due colonne citate sono state misurate, come specificato, con il piede antico, riportato (nell'originale in vera grandezza) a fianco della colonna Antonina, mentre quella di Santa Maria Maggiore presenta una scala grafica in palmi romani.

lone; il grafometro (fig. 37), derivato forse dal quadrante, molto usato in topografia nei secoli successivi, che consentiva di misurare gli angoli da 0 a 180 gradi, di effettuare triangolazioni e intersezioni e che poteva essere usato sia orizzontalmente che verticalmente; la «tavoletta pretoriana»[11], la cui invenzione si deve a Joannes Richter, detto Praetorius (1537-1616), di Joachimsthal (Prussia), e infine la squadra mobile o zoppa, una specie di goniometro, ideata da Ottavio Fabbri[12] (fig. 38a,b,c).

Il rilevamento nei secoli XVII e XVIII

Fin dai primi anni del secolo XVII il rilevamento acquista nuove valenze, è utilizzato per assunti differenti dalla progettazione architettonica e diviene una vera e propria professione: non si tratta più di un modo individuale di studiare le tecnologie del passato o gli elementi formali e spaziali degli edifici, considerati come stimoli per la progettazione, ma di un'attività non secondaria, cui si dedicano molti architetti di quel periodo (fig. 39).

Del rilevamento cambiano i valori, i metodi di esecuzione, la simbologia, le convenzioni grafiche e l'utilizzazione. Inoltre, proprio in questo periodo esso viene inteso come il miglior strumento per intervenire nella trasformazione delle città, tanto che effettivamente, con il secolo XVII, inizia lo studio particolare di piazze, strade, complessi monumentali ed edilizi ecc., al fine di preparare interventi di vario tipo[13]. Fino al secolo XVI i grafici relativi alla disciplina in oggetto si riferivano ad un singolo edificio o a viste prospettiche di particolari ambienti urbani; mancavano, cioè, rilevamenti dettagliati, in vista zenitale, di un contesto urbano o di zone intermedie tra il singolo edificio ed il rione. È questo un fatto importante sotto vari aspetti, che permette, ad esempio, di verificare l'attendibilità delle vedute urbane del periodo precedente, di avere informazioni dettagliate sul «passo» degli edifici in ciascuna delle parcellizzazioni catastali riportate nei grafici di rilevamento dei settori urbani raffigurati. Si possono anche desumere cognizioni importanti sulla relazione tra il verde e le costruzioni, sulla situazione generale edilizia ad una determinata data (il che consente di chiarire o verificare le trasformazioni successive avvenute in un determinato contesto ecc.)[14].

Gli autori di questi disegni sono personalità di tutto rispet-

to, che migliorano i procedimenti di misurazione e mettono a punto una serie di convenzioni grafiche idonee alle nuove necessità e di più facile lettura per i committenti dei rilevamenti stessi. Queste «norme» grafiche sono riferite tanto al semplice organismo edilizio, quanto al settore urbano, alle zone verdi e a quelle libere da edifici. A questo proposito si deve notare l'accentuata differenza tra la rappresentazione degli edifici e quella del terreno, quando questo non sia in piano. Nella raffigurazione in pianta dei primi, la vista ortogonale o zenitale è generalizzata, così come la simbologia per indicare ingressi, scale, finestre, cortili e altre parti di un immobile, mentre, nella raffigurazione del secondo, si nota una maggiore soggettività e l'utilizzo di un punto di vista obliquo rispetto al piano orizzontale virtuale del disegno. In diversi grafici, infatti, si notano edifici in pianta, ma il terreno acclive che li circonda è in «prospettiva». Questo fatto non sorprende, se si pensa che per tutto il secolo XVII e per parte del seguente l'orografia era l'aspetto meno preciso delle carte territoriali ed urbane e solamente alla metà del secolo XVIII si sarebbe arrivati a focalizzare correttamente il problema della misurazione e della rappresentazione dei rilievi naturali, per tradurli in immagini accettabili (almeno secondo il nostro punto di vista). Anche l'uso del colore, per indicare determinate fabbriche o parti di esse, e le ombre contribuiscono a rendere i grafici in questione più espressivi. Del rilevamento interpretato come professione si fa ormai largo uso: esso copre un arco che va dal disegno di parti di città, per interventi pubblici e privati (progettazione di condotte e di fontane, sistemazione plano-altimetrica di strade, trasformazione di giardini, di vigne e di orti ecc.), alla documentazione grafica delle proprietà immobiliari di confraternite, di congregazioni, di ospedali, di ordini religiosi ecc., al rilievo di complessi monumentali, alle perizie per compravendite di immobili e di terreni, a contenziosi tra enti pubblici e privati ecc. Questi ultimi, in particolare, hanno normalmente un valore considerevole sotto il profilo della precisione e dell'attendibilità, in quanto eseguiti «in contraddittorio»; di fatto, tutto ciò che si disegnava era preventivamente approvato dagli architetti o dai periti delle due parti in causa e, inoltre, i disegni contenevano spesso ricche legende esplicative ed osservazioni scritte.

Un altro settore di notevole importanza, specialmente per quanto riguarda la città di Roma (benché quasi ogni città vanti una produzione analoga), è costituito dai cosiddetti «libri delle case»: collezioni di disegni relativi alle proprietà immobiliari delle confraternite religiose, degli ospedali ecc. Le più antiche raccolte di questo tipo risalgono alla fine del secolo XVI e tale pratica continua fino al secolo XIX. Ogni foglio di questi volumi di grafici contiene la pianta o le piante delle case e diverse informazioni di carattere generale sui vari ambienti, sui proprietari confinanti, sulla facciata su strada, sui cortili e sulle servitù attive e passive ecc. Molte piante presentano anche la scala grafica di riduzione, naturalmente nell'unità di misura del periodo e del luogo.

Il secolo XVII è caratterizzato, per quanto attiene al rilevamento, da due grandi monografie sulla basilica di San Pietro: una, del 1624[15], di Martino Ferrabosco; l'altra, del 1694, di Carlo Fontana. Nell'arco di tempo compreso fra queste due date si sviluppa, in Roma, tutto il processo evolutivo del rilevamento proprio del '600, che farà da riferimento anche per il secolo seguente.

In particolare, l'opera del Ferrabosco è fondamentale tanto per lo studio della basilica di San Pietro, quanto per lo studio del rilevamento in se stesso nella prima metà del secolo XVII: essa dimostra il cambio di tendenza, avvenuto alla fine del secolo XVI, che indirizza l'attenzione dei rilevatori verso opere rinascimentali, invece che verso quelle antiche; il mutamento di gusto visibile in disegni non più personali, ma in grafici atti ad illustrare e a far conoscere, per mezzo dell'incisione e della stampa, opere di grande prestigio; e, infine, il cambio di metodo, in quanto i disegni sono eseguiti con rigore scientifico sia nella misurazione, sia nella raffigurazione, e sono diretti a persone fornite di buona cultura geometrico-architettonica. A questo proposito è sufficiente segnalare che diverse piante (fig. 40) e molte sezioni (fig. 41) sono di tipo complesso, riproducendo, nella stessa raffigurazione, immagini pertinenti a vari piani. Nella pianta d'insieme, ad esempio, il Ferrabosco divide la zona absidale in varie parti e di ognuna di esse riporta, sovrapposti ma differenziati per segni, per lettere e per il fondo, le piante dei principali livelli praticabili interposti fra il piano terreno e quello più elevato. Il medesimo procedimento è adottato anche per le sezioni, che recano così immagini utilissime per la comprensione strutturale e distributiva della fabbrica, ma di non facile lettura neppure per gli addetti ai lavori. È da tener presente, però, che in questo caso si tratta di un particolare rilevamento, dato che la basilica era, in quel tempo,

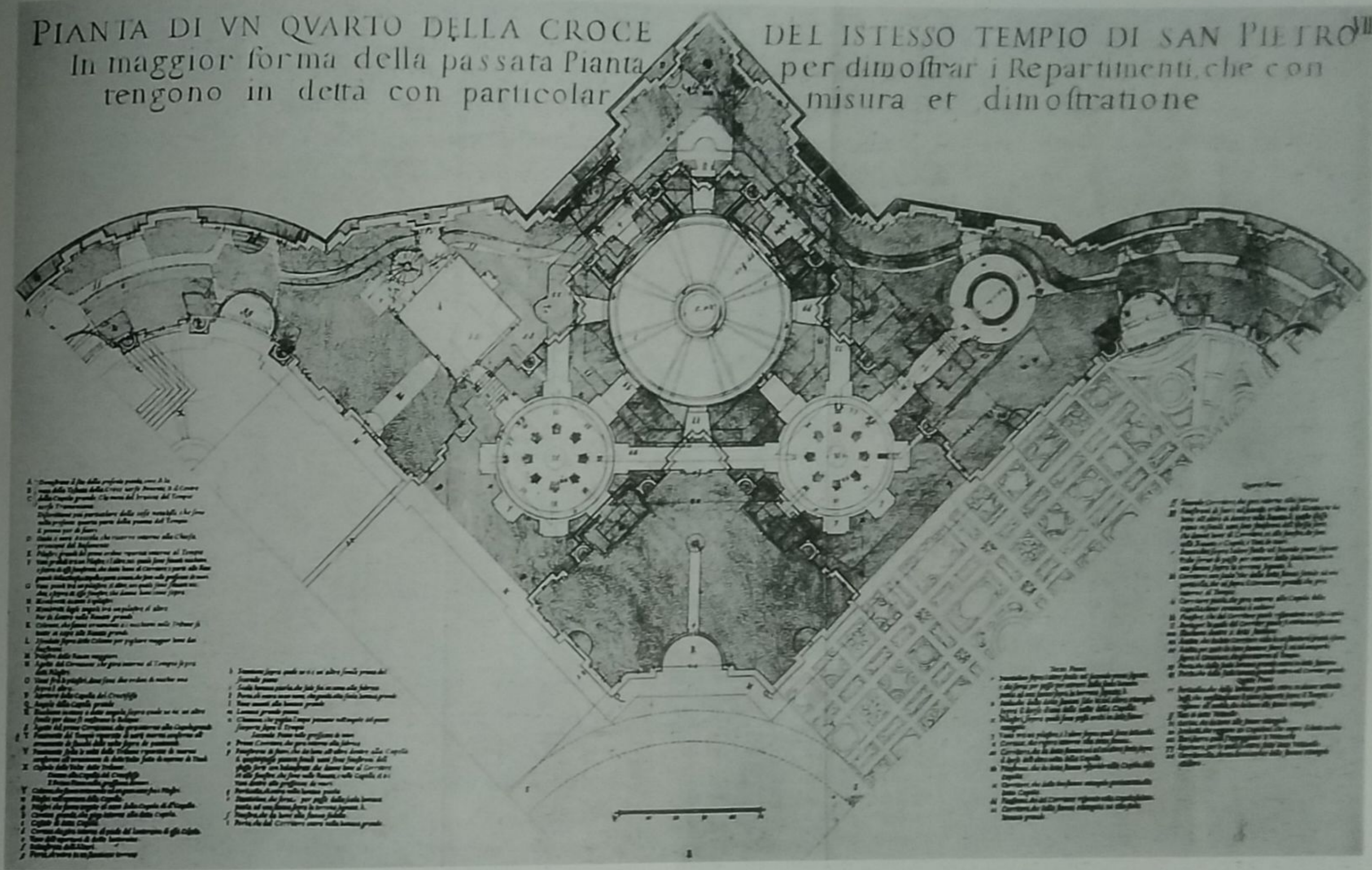


Fig. 40. Martino Ferrabosco (1624). Disegno raffigurante un quarto della zona absidale della basilica di San Pietro. La comprensione del grafico, che riporta le piante dei vari piani nella loro esatta successione verticale, è resa più facile dalla campitura differente degli elementi sezionati ai vari piani e dalle legende annesse.

ancora in costruzione: mancava, di fatto, la zona di connessione tra la croce greca (progetto del Bramante, del Peruzzi e di Michelangelo) e la facciata del Maderno, completata nel 1614.

Quanto a Carlo Fontana, la disciplina acquisisce con lui nuove connotazioni: in certo modo egli chiude il secolo con la succitata prestigiosa opera su San Pietro[16] (fig. 42a,b), che ha un carattere celebrativo, e apre nuove vie con il volume dedicato ad «Anzio e le sue antichità» e con rilievi specificamente tecnici, redatti per il restauro di organismi architettonici e per interventi ordinari su edifici comuni. Egli rappresenta la figura tipica di questo secolo, sia per la sua attività di autore di opere editoriali volte alla diffusione della conoscenza delle grandi architetture, sia per l'importante e minuzioso impegno di rilevamento professionale.

Va detto, poi, che tutti i grandi architetti, come Pietro Berrettini da Cortona, Carlo Rainaldi, Domenico Castelli, Gian Lorenzo Bernini e Francesco Castelli, detto il Borromini, che in quel periodo operavano in Roma, si occupavano anche di rilevamento. Il Borromini, in particolare, fu un attento studioso e disegnatore di strutture murarie di epoca romana, alcune delle quali scoprì egli stesso, negli scavi effettuati nella basilica di San Giovanni in Laterano.

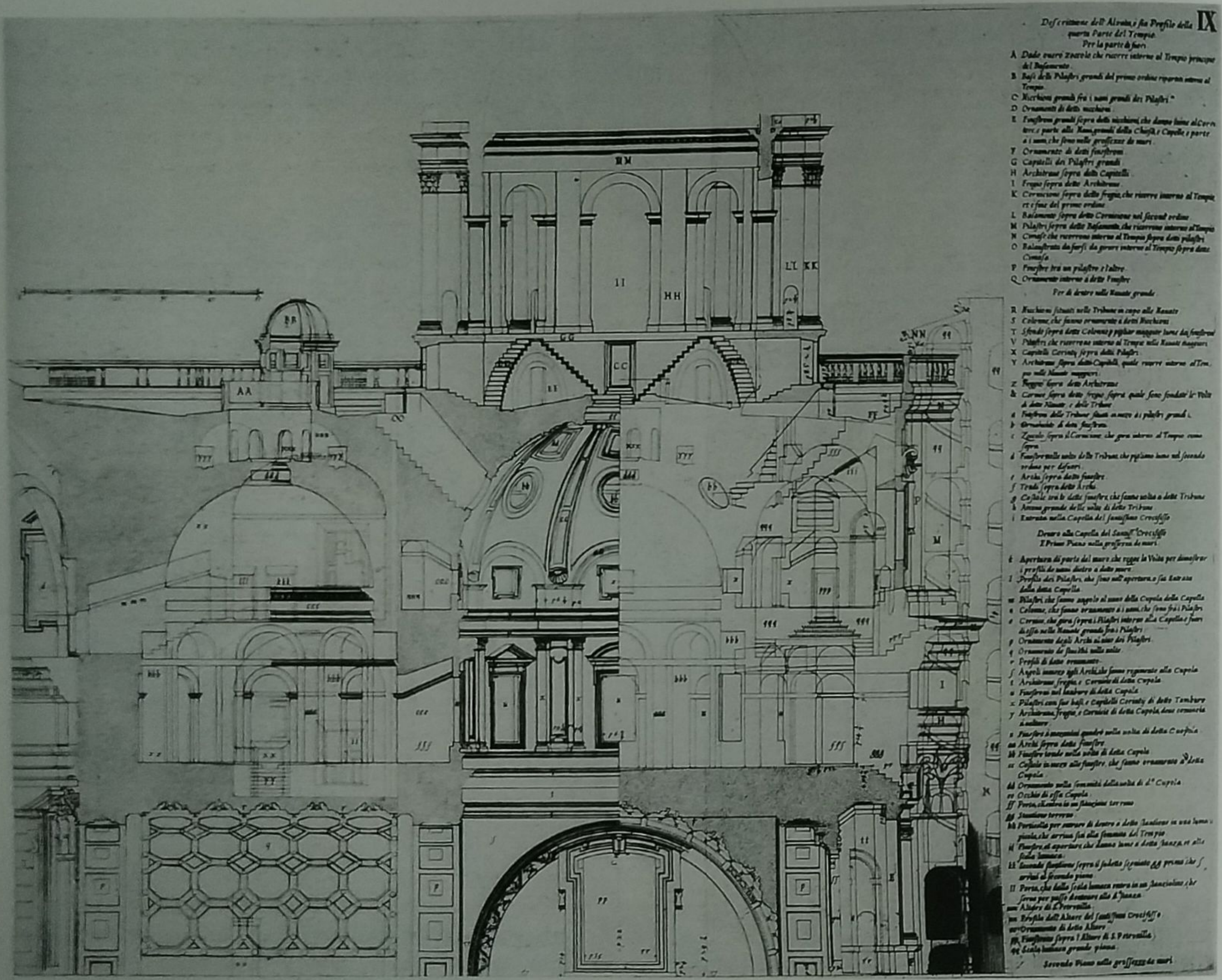


Fig. 41. Martino Ferrabosco (1624). Particolare di una sezione multipla della zona absidale della basilica di San Pietro.

Naturalmente prosegue, in questo periodo, il rilevamento di edifici antichi, di rovine, di colonne (Traiana, Antonina ecc.), di archi di trionfo e di ponti, ma si diffonde anche il disegno dal vero di piazze, di ambienti caratteristici come il Campo vaccino, il Palatino, la zona tra il colle Oppio, il Colosseo e il Celio; metodo tipico della tendenza che prenderà il nome di Paesaggismo: si tratta di grafici alquanto lontani dal rilevamento propriamente detto, ma che costituiscono, data la qualità e la quantità dei disegni, una componente fondamentale per la conoscenza della città eterna e dei suoi mo-

numenti, in quanto molte volte essi integrano i grafici di rilevamento veri e propri, sia dando una visione prospettica dell'insieme, sia offrendo, talora, l'opportunità di studiare la relazione tra edifici monumentali ed edilizia corrente, tra rovine romane ed edifici moderni.

Nell'ultimo quarto del secolo XVII comincia in Roma e in Italia un altro fenomeno culturale di grande interesse, destinato a durare fino al secolo XIX e oltre: vale a dire l'attività di rilevamento e di studio di edifici monumentali del passato soprattutto da parte di architetti francesi, ma anche ad opera di tedeschi ecc. Tra i primi è da ricordare specialmente Antoine Desgodets[17], la cui opera, pubblicata per la prima volta nel

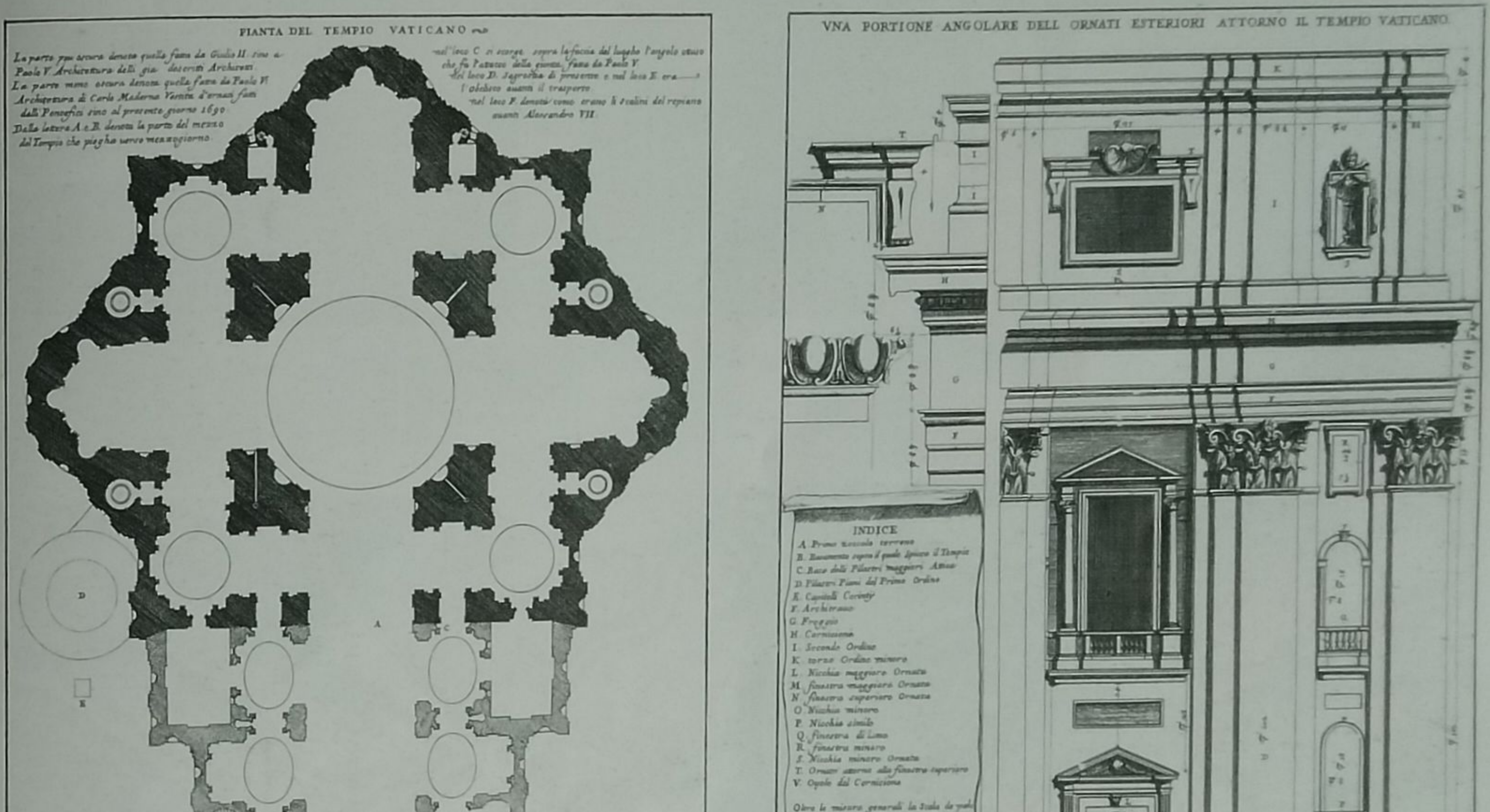


Fig. 42a,b. Carlo Fontana (1694). Pianta di San Pietro, in Roma, e rilevamento della zona d'angolo esterna.

Fig. 43. Antoine Desgodets (1682). Sezione longitudinale della basilica di Costantino, un tempo detta di Massenzio, che il Desgodets nomina come «tempio della Pace» (particolare della Tav. I, 107).

Fig. 44. Giovan Battista Falda (1676). Particolare, tratto dalla mappa prospettica di Roma, della zona compresa tra le chiese di Santo Stefano Rotondo, dei Santi Giovanni e Paolo e le Terme Antoniniane (complesso architettonico molto studiato dai rilevatori rinascimentali).

Fig. 45. John Ogilby, William Morgan (1676). Pianta di Londra, particolare. L'immagine, relativa all'area urbana centrale, riporta sia il luogo da cui si originò il grande incendio del 1666 (isolato individuato dalla scritta «The Pillar where ye fire began 1666»), sia l'avanzamento della fase edilizia ricostruttiva.

1682, si può considerare favorevolmente sotto diversi aspetti: ogni fabbrica è da lui rappresentata nello stato di fatto in cui si trova, con una serie di disegni quotati e messi in relazione con un modulo base, che comprende normalmente una pianta, un alzato, una o più sezioni e alcuni particolari costruttivi; nei suoi disegni, poi, egli indica sommariamente lo stato di degrado degli edifici, la relazione tra sculture e struttura muraria, le distinte partiture murarie e la vegetazione (fig. 43).

Accanto a questa ricca produzione è da citare, inoltre, la notevole pubblicazione di mappe di città, che integrano i grafici di settori urbani in vista zenitale di cui si è già detto; in esse, infatti, si tende ad approfondire temi come quello del punto di vista obliquo al terreno e della pseudo-prospettiva.

Tra le più importanti si possono citare, ad esempio, le vedute pseudo-prospettiche di Roma, di Antonio Tempesta (1593), di Giovanni Maggi e di Giovan Battista Falda (fig.

44), edite rispettivamente nel 1625 e nel 1667 e successivamente nel 1676, che privilegiano la rappresentazione delle fortificazioni della città; piante di città come quelle di Milano, di Francesco Richini, del 1603, che si può comparare per precisione, chiarezza di lettura e qualità grafiche con l'analoga pianta di Londra, di John Ogilby e William Morgan, edita nel 1676 (fig. 45): entrambe, inoltre, rappresentano la città integrata con il territorio circostante. Le vedute pseudo-prospettiche furono per molto tempo le più diffuse e le più apprezzate dal vasto pubblico, mentre quelle zenitali, spesso non pubblicate, ebbero una diffusione minore.

Va anche sottolineato che le innovazioni introdotte nel rilevamento nell'ultimo quarto del secolo XVII preparano caratteristicamente il nuovo corso della disciplina nel secolo successivo, determinando la nascita di nuovi filoni di ricerca, come quello dello studio e del rilevamento archeologico e quello rappresentato dalle opere del Palladio.

In particolare, si possono distinguere quattro settori principali della disciplina in oggetto: quello che può definirsi professionale, destinato alla redazione di grafici utili per interventi di vario tipo (ristrutturazioni, ampliamenti, lavori infrastrutturali, trasformazione ecc.) su edifici preesistenti o contesti urbani; quello di carattere culturale, pertinente alla stesura di disegni finalizzati alla conoscenza e alla diffusione dell'architettura del Rinascimento; quello archeologico, concentrato inizialmente nell'area vesuviana, grazie agli scavi intrapresi nell'area delle antiche città di Pompei e di Ercolano; e, infine, quello conseguente alle scoperte delle antichità grecoromane nella Magna Grecia e nella zona orientale del Mediterraneo. In questi due ultimi settori di ricerca gli apporti degli studiosi e degli artisti francesi, tedeschi ed inglesi furono predominanti e portarono a nuovi approfondimenti culturali.

Per quanto si riferisce specificamente al secondo settore indicato, sorgono in Italia varie specificazioni regionali che, partendo da un concetto comune di rilevamento architettonico, introducono caratteri particolari, sia nei temi di studio, sia negli obiettivi finali, sia nella tecnica grafica. Il Veneto, per esempio, ove si distinguono le figure di Francesco Muttoni[18] (fig. 46) e Ottavio Bertotti Scamozzi[19], si occupa dello studio delle opere del Palladio e degli edifici monumentali di Venezia; la Toscana, con Giuseppe Zocchi[20], Gaetano Cambiagi[21] e Filandro Cretense (al secolo Antonio Cerati)[22], predilige invece il tema delle ville e dei giardini all'italiana, proponendo opere di grande interesse culturale. Analoghi studi si effettuano anche nel Lazio e in Campania.

Il rilevamento archeologico si concentra, invece, come si è detto, soprattutto sugli scavi di Pompei (fig. 47) e di Ercolano, ma anche l'area romana si segnala per tre grandi centri di esplorazione sistematica: il Palatino, a partire dal 1729, Villa Adriana, presso Tivoli, dove gli scavi iniziano nel 1737 e la città di Gabii, presso Roma, di cui ci si occupa specialmente nella seconda metà del secolo.

La personalità emergente di questo secolo, però, è Giovan Battista Piranesi, figura singolare di artista, architetto ed

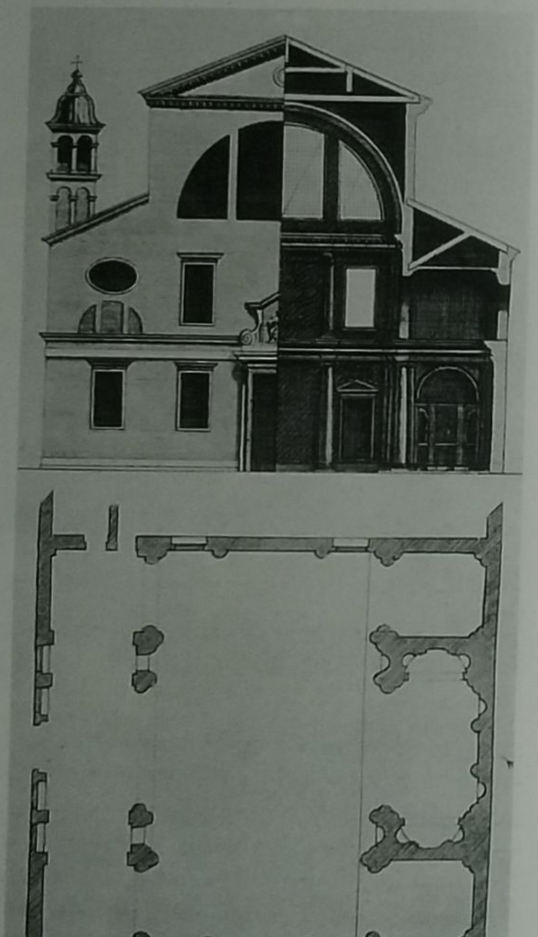


Fig. 46. Francesco Muttoni (1750). Rilievo della chiesa di Santa Lucia in Venezia.

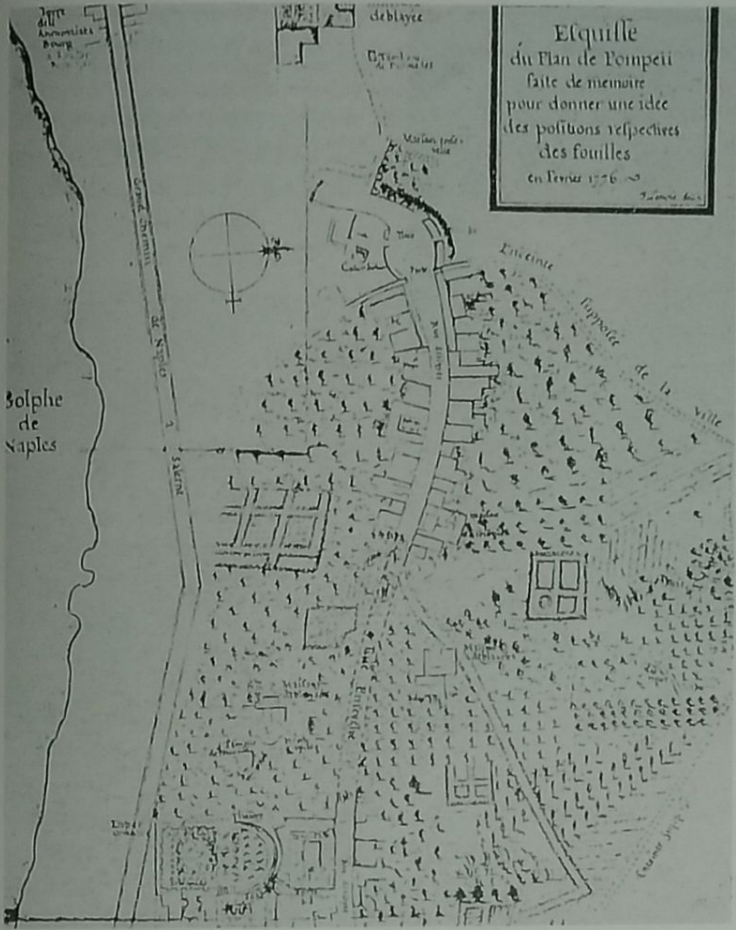


Fig. 47. François de Paule Latapie. Planimetria degli scavi in atto a Pompei nel 1776. Lo schizzo, disegnato a memoria, mostra il sito delle principali zone di scavo, ancora immerse nel verde della campagna vesuviana, lungo la via dei Sepolcri e la via Consolare. Il perimetro ipotizzato delle mura racchiude circa un sesto dell'effettiva area urbana oggi individuata, cioè quello non appartenente al nucleo più antico della città.

incisore, che amplia ed approfondisce il concetto di rilevamento, senza limitarsi a disegnare ciò che vede, ma interpretando quanto resta dei monumenti antichi, analizzandoli con l'ausilio delle fonti letterarie del passato e iniziando lo studio di ogni edificio con misurazioni, annotazioni e osservazioni, effettuando altresì scavi nelle parti non del tutto intellegibili, rilevando in scala naturale i dettagli architettonici e collazionando le diverse fonti e i dati del rilevamento da un punto di vista soggettivo. Disegnatore e incisore magistrale, i suoi schizzi dal vero hanno un valore documentale uguale a quello delle stampe impresse (fig. 48). Le architetture romane sono studiate e riprodotte in un'ottica singolare, attraverso una quantità di immagini che vanno dalle piante alle sezioni, dai dettagli ai prospetti, con un gusto particolare per la composizione e per l'equilibrio tra parte scritta ed immagini veramente sorprendente. Tra i caratteri più interessanti dell'opera del Piranesi, in merito al rapporto tra edifici antichi e contesto ambientale, si evidenzia la dicotomia, fortemente sentita dall'autore, tra i dati «oggettivi» (piante, facciate e sezioni) e le rappresentazioni in prospettiva, eseguite per ottenere effetti di grandiosità e magnificenza, anche per costruzioni di modeste dimensioni (fig. 49). Molte delle incisioni dell'autore costituiscono uno studio grafico completo dell'opera esaminata, poiché in una stessa tavola compaiono la planimetria del luogo, le piante a diverse quote dell'edificio, una o più sezioni generali, un prospetto e vari dettagli costruttivi con la rappresentazione dei paramenti esterni. Numerose campagne di rilevamento furono effettuate, specialmente nell'area

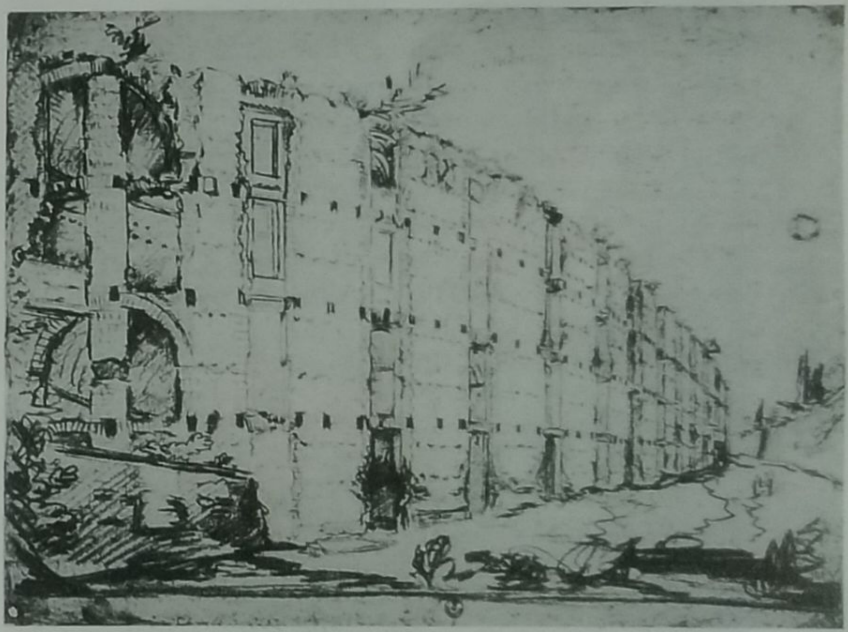


Fig. 48. Giovan Battista Piranesi. Schizzo raffigurante le cosiddette «Cento camerelle» nella Villa Adriana presso Tivoli.

Fig. 49. Giovan Battista Piranesi. Prospettiva frontale dell'interno del Ninfeo dorico sulla riva del lago di Albano, ove sono messi in atto, dall'artista, vari espedienti per ottenere effetti di grandiosità spaziale.

romana, tra il 1750 e il 1780[23], ma l'opera del Piranesi e i suoi metodi di lavoro furono seguiti sia nel periodo conclusivo del secolo XVIII, sia nella prima metà del secolo seguente.

Contemporaneamente allo sviluppo del rilevamento architettonico si evolvono anche i concetti teorico-applicativi del rilevamento urbano e territoriale, tanto che nella seconda metà del secolo XVIII si trasforma anche la figura stessa del rilevatore e appare una nuova disciplina di studio: la topografia. Va detto che il fenomeno del rilevamento urbano, a ragione, si può considerare europeo, poiché gli aspetti teorici e pratici si applicano quasi simultaneamente in molte nazioni d'Europa. Il passaggio dalle vedute pseudo-prospettiche alle piante zenitali, ad esempio, avviene in molte nazioni intorno al 1730, ma verso il 1750 tale metodo di raffigurazione appare già ampiamente diffuso. Le migliori piante urbane inglesi, olandesi, tedesche, francesi, spagnole, portoghesi, austriache e, naturalmente, italiane, presentano caratteristiche basilari comuni, che vanno dallo schema planimetrico dettagliato, alla pianta del piano terreno degli edifici monumentali, alla caratterizzazione delle aree pubbliche e alla indicazione generale dell'insieme viario (fig. 50). Altri aspetti importanti sono costituiti dalla simbologia, che appare sempre meno soggettiva, dell'apposizione frequente dell'unità di misura, dalla creatività figurativa, sempre attenta al cambio del gusto, dalla graficizzazione del territorio circostante alla città, dalla buona precisione dell'insieme geometrico (derivata da campagne di rilevamento topografico fatte appositamente), dalla individuazione delle architetture maggiori, in relazione al verde e alla edificazione ordinaria, e dalla legenda esplicativa delle strade e dei monumenti.

Poiché la rappresentazione iconografica è considerata fondamentale per la conoscenza delle città, si cerca sempre più la «vera forma» dei centri urbani (cosa che fu possibile grazie al perfezionamento degli strumenti di rilevamento esistenti e alla creazione di nuovi), in vista degli obiettivi speciali per cui le piante erano eseguite. Pertanto, gli aspetti scenografici e rappresentativi delle mappe urbane assumono minor importanza rispetto a quelli tecnico-scientifici.

Essendo però impossibile elencare anche solo le principali piante urbane realizzate nel secolo XVIII che si distinguono per la loro eccezionale qualità, è sembrato opportuno citare, come esempi, almeno cinque mappe scaglionate nel tempo e nello spazio, vale a dire quella di Venezia, di Lodovico Ughi, del 1729, quella di Milano, di Marcantonio Dal Re, del 1734 (fig. 51), quella di Roma, di Giovanni Battista Nolli, del 1748 (fig. 52), quella di Padova, di Giovanni Valle, del 1784 e quella di Napoli, di Giovanni Antonio Rizzi Zannoni, del 1790, che è da considerarsi una vera e propria opera magistrale dell'arte cartografica, con implicazioni che preludono al nuovo secolo (fig. 53).

Fig. 50. M. de Beaurain (sec. XVIII). Pianta di Mantova. Tipica immagine, di buon livello grafico ed espressivo, annessa a una delle tante descrizioni di viaggio su suolo italiano.

Fig. 51 (*a fronte*). Marcantonio Dal Re (1734). Pianta di Milano. In vista planimetrica, essa mostra il centro urbano, inserito nel territorio circostante, definito nelle sue caratteristiche agrarie. Delle chiese maggiori viene presentato lo schema planimetrico, mentre degli edifici civili sono indicate la superficie coperta e le zone a portico. Di notevole interesse la consistenza edilizia, delineata tra la fossa interna (o Redifossi) della città e le mura urbane.

Fig. 52. Giovanni Battista Nolli (1748). Nuova pianta di Roma, detta pianta grande (12 fogli).

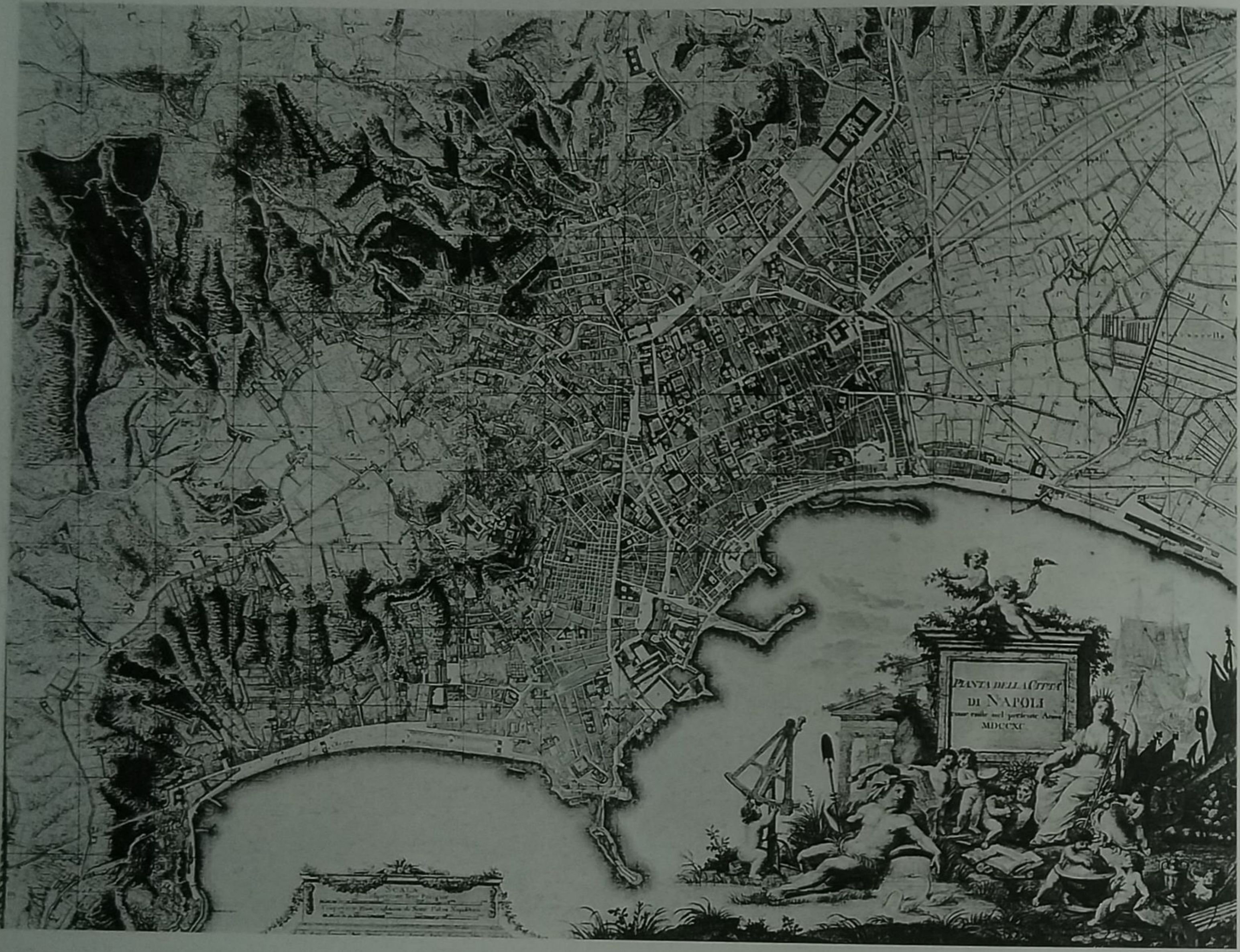


Fig. 53. Giovanni Antonio Rizzi Zannoni (1790). Pianta della città di Napoli. La mappa appare come un ottimo esemplare di raffigurazione urbana inserita nel contesto ambientale: l'orografia, ad esempio, risulta avere un ruolo fondamentale per la comprensione della struttura generale dell'insediamento.

Sempre a titolo esemplificativo, si possono poi citare alcuni degli aspetti caratteristici della pianta di Roma, del Nolli, una delle migliori del Settecento, che sono: precisione di rilevamento; raffigurazione del fiume Tevere e di tutta la fascia circostante (rive, zone portuarie, mulini, imbarcazioni ecc.); indicazione sommaria dell'altimetria delle zone collinari esterne al perimetro urbano; legenda con ricchissimo indice delle strade, delle piazze, dei palazzi, delle chiese e dei giardini, rione per rione; indicazione di molteplici scale di riduzione, che comprendono anche quella in piedi romani an-

tichi e in piedi inglesi; differenza di segno per differenziare le fabbriche moderne da quelle in rovina (misurate e disegnate da altri rilevatori, quando erano ancora in essere); indicazione delle linee di separazione tra i vari rioni e, infine, una ricca simbologia per indicare le fonti, i cimiteri, le fognature con imbocco coperto e scoperto, le porte urbane murate, i quartieramenti di soldati e molto altro ancora.

Il rilevamento nel secolo XIX

Vasta e importante fu l'attività di rilievo svolta da architetti e da ingegneri per tutto l'arco del secolo XIX. Le basi di una così notevole produzione sono da ricercare nello studio delle esperienze proprie dei secoli precedenti, nel perfezionamento della strumentazione messa a punto nel '700 e nella codificazione e divulgazione della geometria descrittiva, mentre la produzione stessa è caratterizzata da un vivo interesse per la conoscenza e il restauro dell'architettura monumentale e dallo studio di periodi storici diversi da quelli dell'antichità e del Rinascimento, nonché da un nuovo modo di concepire il rilievo, tipico di alcune grandi personalità (fig. 54).

Di grande importanza, in questo secolo, è anche l'opera svolta sia in Francia che in Italia da alcuni architetti francesi, sui quali non sembra superfluo dare qualche notizia: Pierre Martin Gauthier (1789-1855), ad esempio, grazie al Prix de Rome, ebbe la possibilità di operare dal 1810 al 1815 presso l'Accademia di Francia a Roma. Essendo, come molti altri architetti stranieri, un estimatore dell'architettura italiana e in particolare di quella genovese, che egli riteneva molto rappresentativa e particolarmente valida, compì un'accurata opera di rilevamento dei più notevoli edifici di Genova del periodo della seconda rinascenza[24], nella quale si notano sostanziali progressi rispetto alle opere stampate precedentemente sugli stessi edifici, sia dal punto di vista del rigore compositivo, sia da quello della rispondenza tra rappresentazione grafica e fabbricato, sia, infine, per l'uso di un maggiore e più appropriato numero di convenzioni grafiche (fig. 55a,b).

Da ricordare, inoltre, Charles Percier (1764-1853) e Pierre François Léonard Fontaine (1762-1853), autori di un'opera (1798) su diversi edifici romani[25], mentre a Jean Nicolas Louis Durand[26] (1760-1834) si deve la pubblicazione, a Parigi, della *Collection des chefs d'oeuvre de l'architecture des différents peuples* (1806) e di un *Recueil et parallele des édifices de tout genre anciens et modernes* (1799-1801).

Anche in Inghilterra vennero pubblicati, nella prima metà del secolo XIX, vari lavori su problemi legati al rilevamento, tra cui si possono citare quelli di Augustus Charles Pugin[27] (1762-1832), specifici sull'argomento in oggetto. Tra gli inglesi che furono in Italia vanno ricordati, poi, John Soane (1753-1837), architetto e collezionista, che studiò a Roma vari edifici antichi, e Charles Barry (1795-1860), che approfondì lo studio del Gotico e visitò, oltre all'Italia, la Francia, la Grecia, la Turchia e il Vicino Oriente.

Quanto ai rilevatori tedeschi, sono da menzionare Leo von Klenre (1784-1864), profondo conoscitore dell'architettura classica, Karl Friederich Schinkel (1781-1841), architetto, urbanista, pittore e incisore, che studiò gli edifici medievali in Italia e svolse vasta opera di sensibilizzazione per la conservazione dei monumenti, e Robert Reinhardt, che effettuò una campagna di rilevamento e fornì una notevole documentazione antologica inerente le fabbriche costruite tra il 1400 e il 1700 nell'Italia settentrionale e in Toscana[28].

Molti furono anche gli studiosi italiani che si dedicarono al rilevamento tra la fine del '700 e la prima metà dell'800, continuando la tradizione instauratasi fin dal periodo rinascimentale: tra essi si possono citare Giovanni Antonio Selva (1753-1819), veneto, che assieme a Leopoldo Cicognara (1767-1834) e ad Antonio Diedo (1772-1847) rilevò e disegnò vari edifici monumentali di Venezia[29] (fig. 56); Francesco Ronzani e Girolamo Luciolli, che effettuarono, invece, i rilievi delle fabbriche di Michele Sanmicheli, mentre Riccardo ed Enrico Mazzanti e Torquato Del Lungo rilevarono edifici monumentali di Firenze e Giuseppe Piermarini (1734-1808) eseguì il rilievo di alcuni edifici di Roma.

Di notevole interesse fu anche l'opera di Giuseppe Valadier (1762-1839), architetto, ingegnere, archeologo, scrittore, architetto camerale dal 1786 e massimo esponente del Neoclassicismo. In particolare, egli lavorò dal 1810 al 1826 con Ennio Quirino Visconti per pubblicare rilievi di antiche costruzioni romane[30] (fig. 57).

La figura più rappresentativa del secolo XIX fu, però, senz'altro il francese Paul Marie Letarouilly (1795-1856), architetto e studioso, che si occupò principalmente dell'archi-

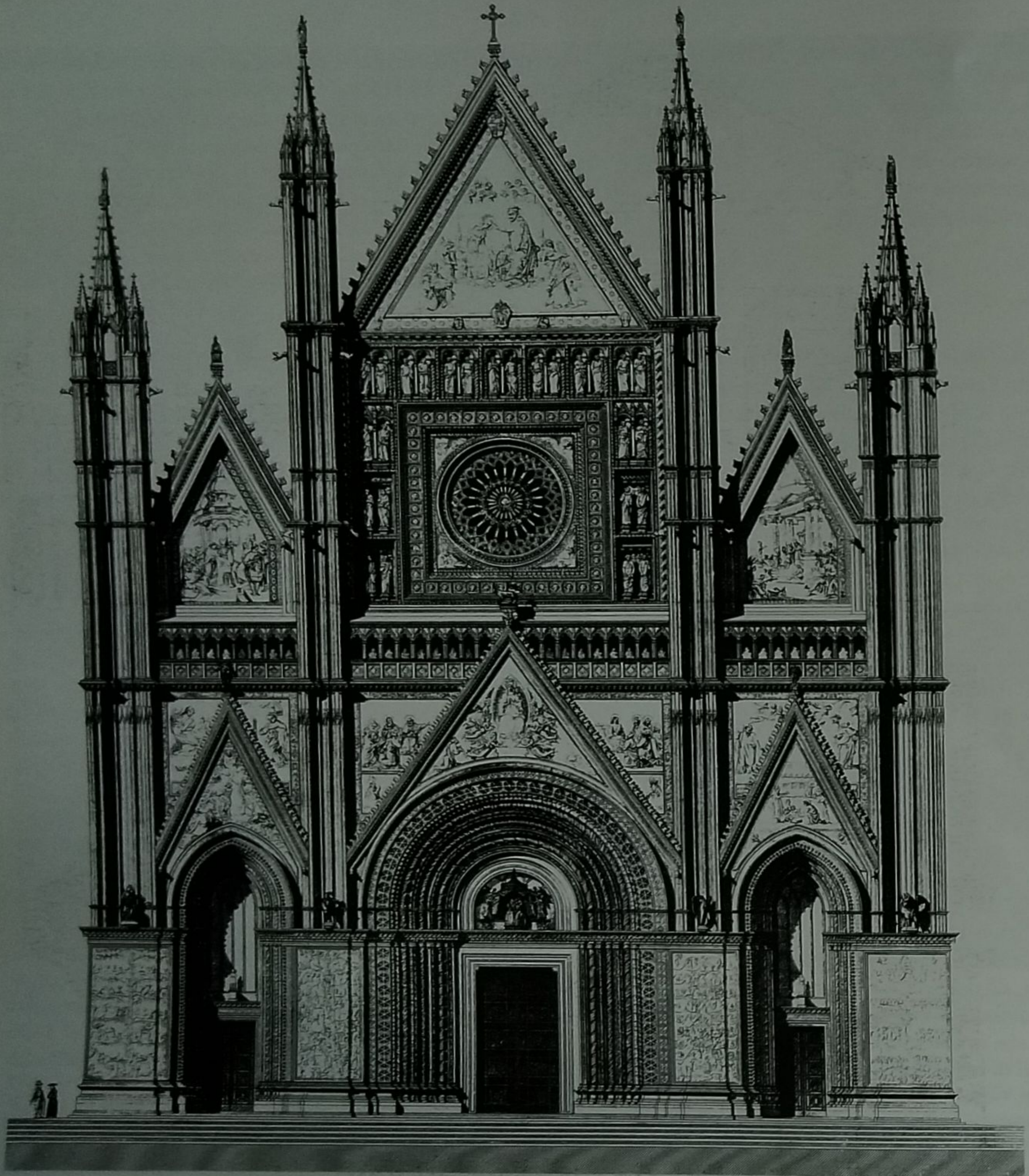


Fig. 54. Nicolas Benois, Alexander Resanoff, Alexander Krakau (1842). Prospetto del duomo di Orvieto.

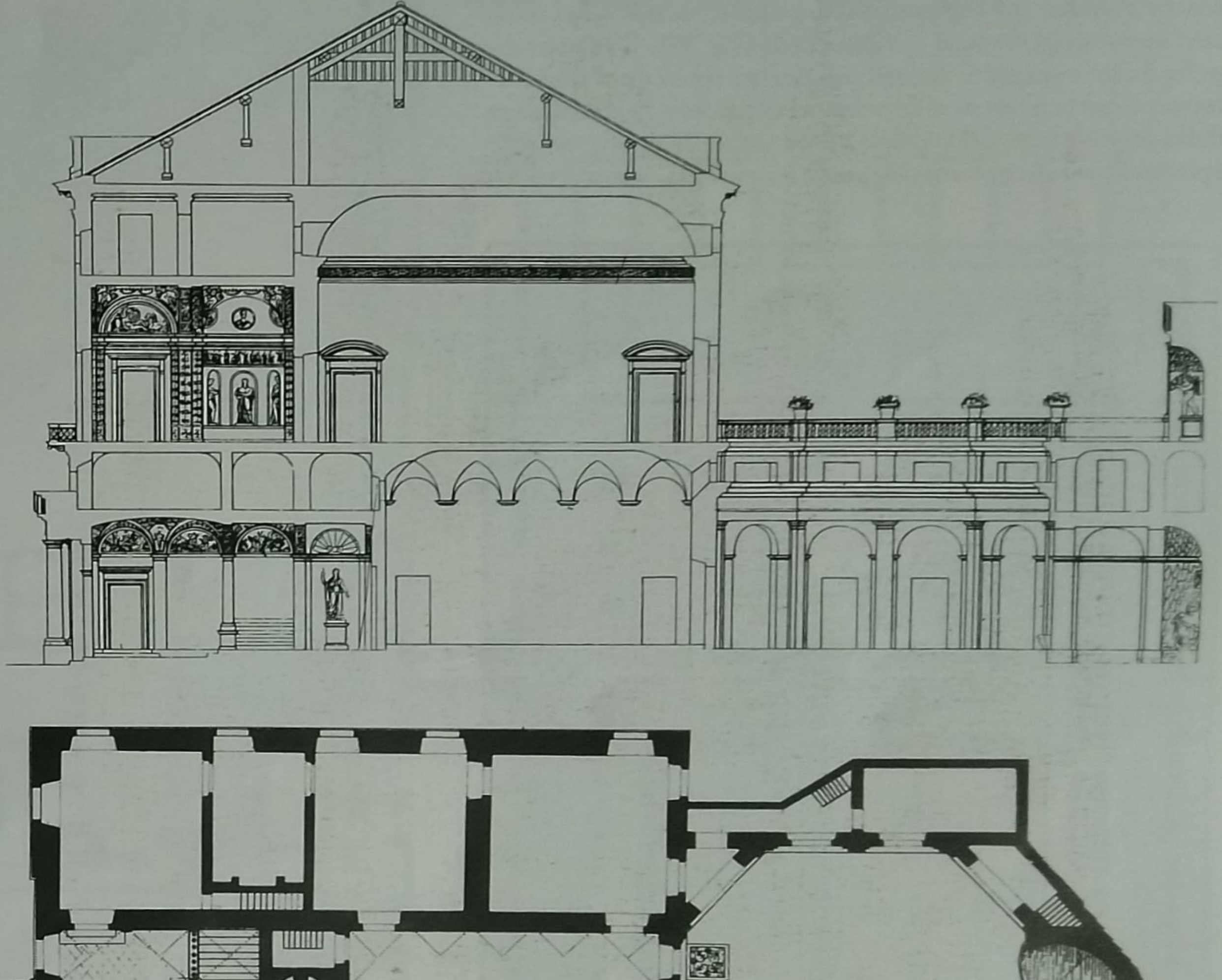


Fig. 55a,b. Pierre Martin Gauthier. Sezione e pianta di Palazzo Gambaro a Genova.

tettura romana del Rinascimento, pubblicando volumi di rilievi ancor oggi ritenuti fondamentali (fig. 58). Il rilevamento fu da lui concepito come base documentaria per una corretta progettazione in stile, mentre considerò la conoscenza delle architetture del passato come fonte di aggiornamento spirituale per progettare con gusto e sicurezza, senza errori[31].

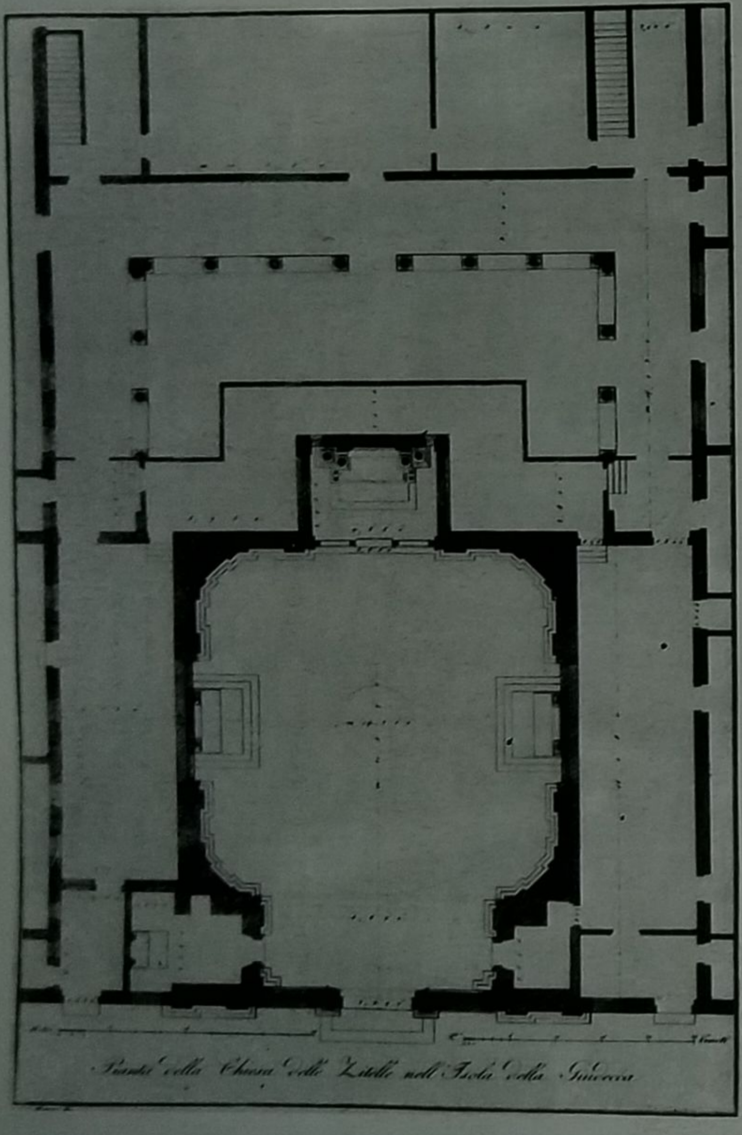


Fig. 56. Leopoldo Cicognara, Giovanni Antonio Selva, Antonio Diedo (1830-40). Pianta quotata della chiesa delle Zitelle in Venezia.

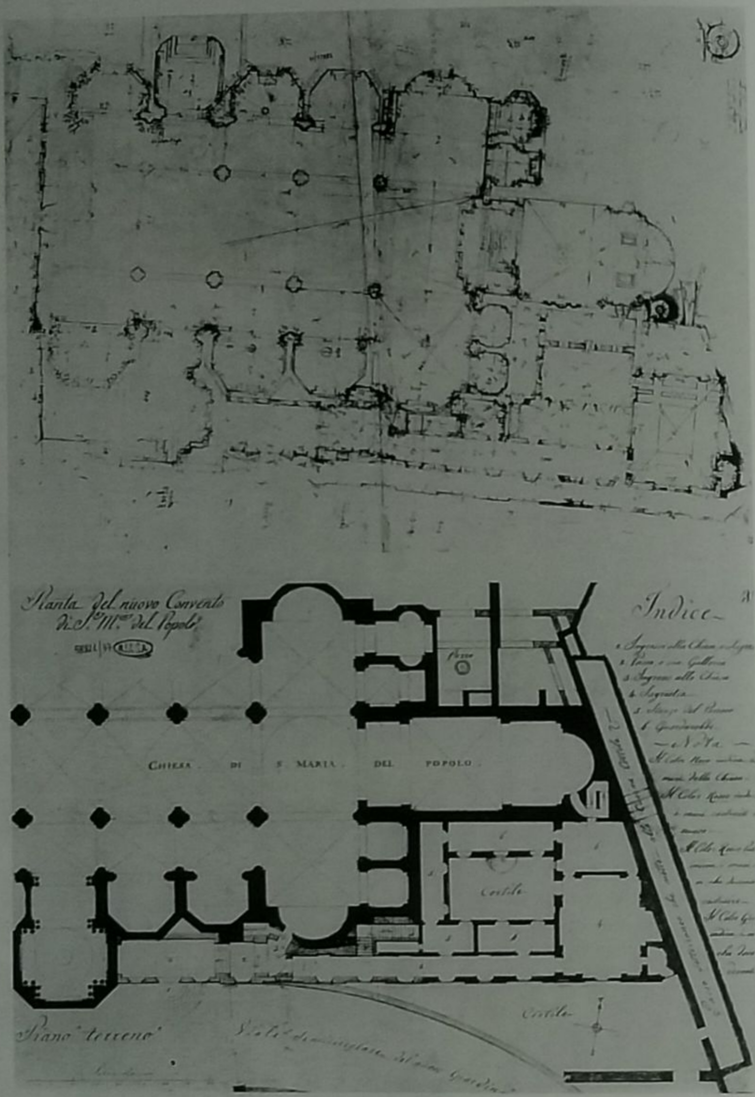


Fig. 57. Giuseppe Valadier. Rilevamento della chiesa di Santa Maria del Popolo e pianta del nuovo convento annesso; nella figura in basso, «in pulito», compare l'inizio della rampa anulare, pertinente alla sistemazione del nuovo giardino del Pincio.

Come fa notare Luigi Vagnetti[32], vennero subito rimproverati a Letarouilly la scarsa apposizione di quote e «la regolarizzazione tutta accademica degli organismi architettonici rilevati». Al secondo appunto rispose nei suoi scritti lo stesso Letarouilly, sostenendo che il rilievo è una precisa operazione critica, che deve cercare di risalire a un'immagine dell'edificio qua-

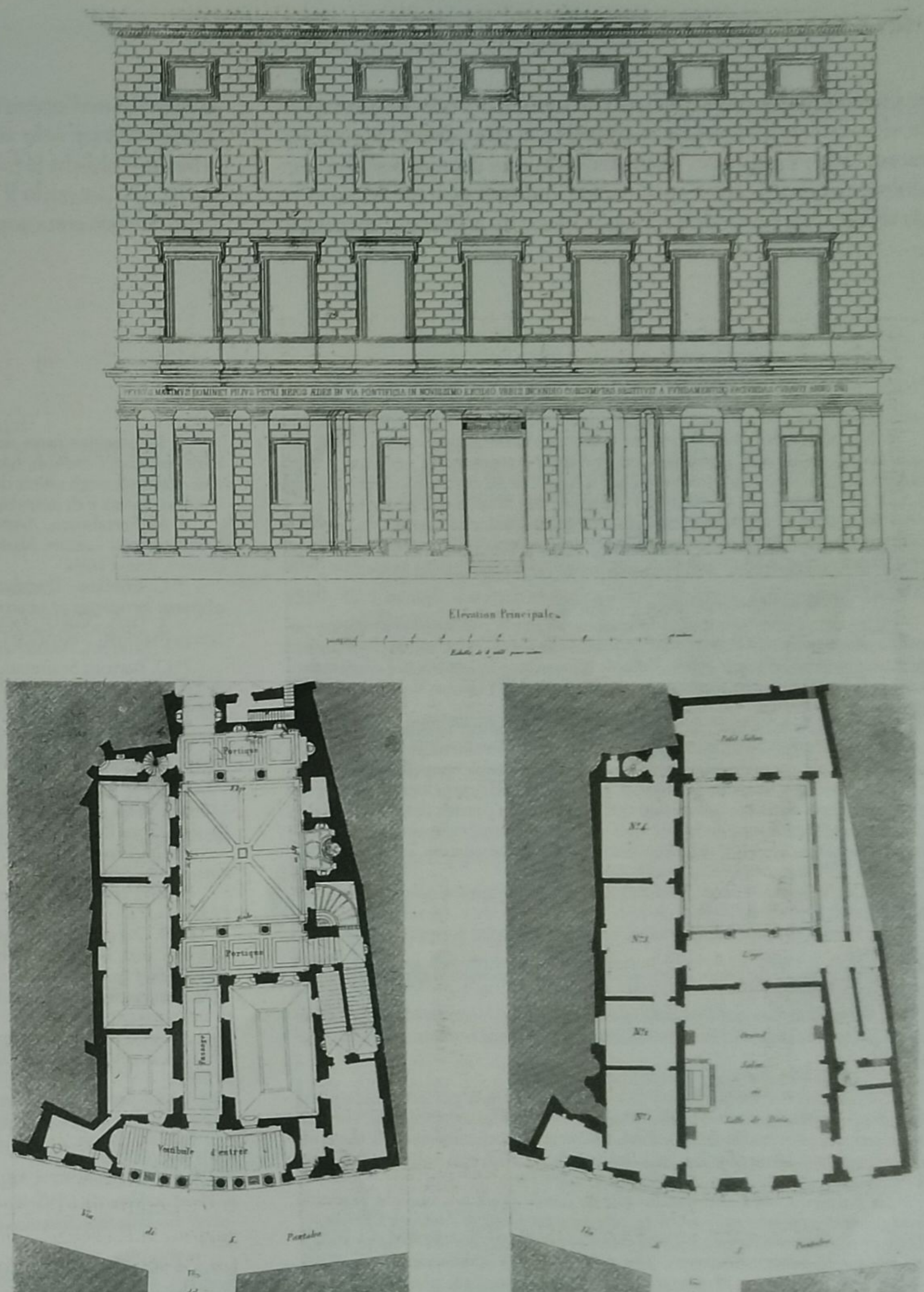


Fig. 58. Paul Marie Letarouilly (1854-57). Una tavola dell'opera sugli edifici romani (prospetto e piante di Palazzo Massimo alle Colonne).

le l'architetto avrebbe voluto che fosse e non deve fermarsi alla situazione di fatto che si presenta al rilevatore. La «regolarizzazione» è dunque, in Letarouilly, una precisa scelta metodologica ed operativa applicata al rilievo e non un'accettazione dei princìpi accademici: egli ritiene, in sostanza, che, dopo aver studiato l'opera da rappresentare, una certa «regolarizzazione» sia non solo accettabile, ma doverosa, qualora il rilevatore giudichi che la fabbrica, che sarebbe dovuta risultare di un certo tipo secondo il progettista, per motivi fortuiti e contingenti non sia stata costruita in modo aderente al progetto[33].

Note

[1] La diottra era uno strumento usato per determinare allineamenti, che constava di un'alidada, o regolo, con due mire o traguardi, l'uno fisso, l'altro mobile. È certo uno degli strumenti più longevi: se ne costruirono fino al secolo XIX tipi sempre più perfezionati, da usare con la tavoletta pretoriana.

[2] In pratica si trattava di una diottra complessa, che consentiva, con l'asportazione o meno di alcune parti, varie operazioni. Lo strumento era sostenuto da un'asta con filo a piombo, per il controllo della giusta posizione dello congegno.

[3] Un piede romano equivale a 29,56 cm.

[4] Uno dei volumi ancor oggi fondamentali per la conoscenza di questo periodo resta quello di G. Sepe, dal titolo *Rilievi e studi dei monumenti antichi nel Rinascimento*, Napoli 1939. Volumi classici per lo studio del rilevamento durante il Rinascimento sono quelli del Bartoli, dell'Hülsen, del Falb, di Giovannoni, di Vasari ecc.

[5] Non è da trascurare, dal punto di vista tecnologico, lo svilupparsi del fenomeno del disegno di edifici antichi, iniziato intorno alla metà del secolo XV e affermatosi contemporaneamente alla produzione corrente della carta. La comodità di scrittura, la maneggevolezza, la praticità della carta hanno avuto, pertanto, una parte notevole nel rapido diffondersi della pratica del disegno e dello studio degli organismi architettonici antichi. Altrettanta importanza, se non maggiore, ebbero gli studi sulla geometria e sull'arte mensoria, iniziati alla fine del secolo XIV e proseguiti in quello seguente.

[6] G. De Angelis D'Ossat, *Realtà dell'architettura: apporti alla sua storia*, Roma 1982, vol. II.

[7] O. Finé, *Quadrans astrolabicus, omnibus Europae regionibus inserviens*, Paris 1534.

[8] F. Feliciano da Lazesio, *Libro di arithmetica e geometria speculativa e praticale* (1526), Venezia 1527.

[9] N. Tartaglia, *General trattato di numeri e misure*, Venezia 1556-60; G. Cataneo, *Opera del misurare*, Brescia 1577; G. Pomodoro, *Geometria pratica*, Roma 1599.

[10] J. Davis, *The Seaman's Secrets*, London 1594.

[11] Strumento costituito da una tavoletta rettangolare, perfettamente piana (utilizzata per appoggiarvi un foglio di carta), montata su un treppiede, che può ruotare sul piano orizzontale. Per l'uso in operazioni di rilevamento, deve essere accoppiata al filo a piombo, alla livella, alla diottra, alle paline, alle canne, ecc.

[12] O. Fabbri, *L'uso della squadra mobile con la quale per teoria et pratica si misura geometricamente ogni distanza, altezza e profondità, s'impara a perticare, livellare et pigliare in disegno le città, paesi et provincie, ecc. da Ottavio Fabbri messa in luce*, Venezia 1598.

[13] Si tratta di disegni finalizzati ad allargare o sistemare piazze e strade, a conoscere determinati luoghi, a trasformare insiemi di edifici e grandi organismi architettonici, ecc.

[14] La maggior parte dei rilevamenti effettuati in questi due secoli, pertinenti ad edifici comuni, naturalmente non venivano pubblicati; però le ricerche effettuate negli ultimi decenni dimostrano che la quantità di questi disegni è molto elevata e di notevole interesse.

[15] M. Ferrabosco, *Architettura della Basilica di San Pietro in Vaticano, opera di Bramante Lazzari, Michelangelo Bonarota, Carlo Maderni, e altri famosi architetti*, Roma 1684.

[16] C. Fontana, *Templum Vaticanum et ipsius origo cum aedificiis maxime cospicuis antiquitus et recens ibidem constitutis*, Roma 1694.

[17] A. Desgodets, *Les édifices antiques de Rome*, Paris 1779.

[18] F. Muttoni, *Architettura di Andrea Palladio vicentino*, Venezia 1740-48.

[19] O. Bertotti Scamozzi, *Le fabbriche e i disegni di Andrea Palladio*, Vicenza 1776.

[20] G. Zocchi, *Vedute delle ville e d'altri luoghi della Toscana*, Firenze 1744.

[21] G. Cambiagi, *Descrizione dell'imperiale giardino di Boboli*, Firenze 1757.

[22] A. Cerati, *Le ville lucchesi con altri opuscoli in versi ed in prosa di Filandro Cretense*, Parma 1783.

[23] Tra le opere di G.B. Piranesi ricordiamo: *Le antichità romane*, Roma 1756; *Della magnificenza ed architettura de' romani*, Roma 1761; *Il campo Marzio dell'antica Roma*, Roma 1762, ecc.

[24] P.M. Gauthier, *Les plus beaux édifices de la Ville de Gênes et de ses environs*, Paris 1818-1832.

[25] Ch. Percier, P.F.L. Fontaine, *Palais et maisons de Rome moderne*, Paris 1798.

[26] Il Durand svolse intensa attività pubblicistica inerente rilevamenti suoi e di altri. Il volume *Recueil et parallele des édifices de tout genre anciens et modernes* fu tradotto in italiano da F. Zanotto e edito a Venezia prima nel 1833 e, successivamente, nel 1857, con l'aggiunta di disegni di altri edifici e di un riassunto di storia dell'architettura di J.L. Legrand. Opera tipica di quel periodo per intenti e metodologia d'indagine, si trovano in essa rilevamenti di buon livello, altri meno attendibili, altri ancora che, in realtà, non lo sono.

[27] A.Ch. Pugin, *Specimens of Gothic Architecture*, London 1821; Id., *Gothic Ornaments from Ancient Buildings in England and France*, London 1831.

[28] R. Reinhardt, *Palazzi dell'Italia settentrionale e della Toscana dal XV al XVII secolo*, Berlino 1866.

[29] L. Cicognara, G.A. Selva, A. Diedo, *Le fabbriche e i monumenti cospicui di Venezia*, Venezia 1830-40.

[30] G. Valadier, *Raccolta delle più insigni fabbriche di Roma antica*, Roma 1813.

[31] P.M. Letarouilly, *Notices historiques et critiques sur les édifices de Rome moderne*, 4 voll., Paris 1854-57.

[32] L. Vagnetti, *L'architetto nella storia di occidente*, Padova 1980.

[33] *Ibidem*.

Bibliografia

ASPETTI GENERALI DEL RILEVAMENTO ARCHITETTONICO

Opere generali

1958 L. Vagnetti, *Disegno e architettura*, Genova.
1965 L. Vagnetti, *Attualità del rilievo*, in «L'architetto», a. X, n. 12.
1968 M. Rosi, *Il rilievo come lettura della tradizione architettonica*, Napoli.
1973 M. Rosi, *Rilievo e lettura dell'architettura*, Napoli.
1983 G. Zander, *La conoscenza della Storia dell'Architettura quale necessaria premessa anche nei casi di anastilosi: alcune importanti esperienze*, in «Atti del XXI Congresso di Storia dell'Architettura», Roma 12-14 ottobre.
1992 C. Cundari (a cura di), *L'immagine nel rilievo*, in «Atti del Seminario di Studio», Lerici 10-11 maggio 1988, e Roma 20-22 febbraio 1989.

Sul rilevamento dei centri storici e dell'ambiente

1958 L. Vagnetti, *Alcune considerazioni sullo studio dell'ambiente architettonico*, Roma.
1968 A. Cavallari Murat, *Metodologia e metodi in tema di rioni storici. Rinnovamento nel rilievo urbanistico-architettonico*, Torino.
1972 L. Vagnetti, *Il rilevamento del centro antico di Genova*, in «Quaderno» dell'Istituto di Elementi di Architettura e Rilievo dei Monumenti dell'Università di Genova, nn. 8, 9, 10.
1976 G. Calorio, S. Coppo, L. Morra, *Un'esperienza di rilievo urbanistico a Novara*, in «Rivista Novara», n. 5.
1977 L. Macci, G. Villa, *Note per una metodologia di analisi dei settori urbani nei centri storici*, Firenze.
1979 M. Fondelli, *Prospettive di una normativa tecnica* ICOMOS *per il rilevamento dei centri urbani e dei monumenti*, I Conferenza Nazionale di Cartografia, Firenze.
1979 A. Maniglio Calcagno, *Note sulla lettura ed il rilievo dell'ambiente*, Genova.
1981 F. Ciardini, P. Falini, *L'analisi dei centri storici*, Roma.
1983 L. Quaroni, *Siena centro storico*, Milano.
1989 P. Albisinni, L. De Carlo, *Oltre il rilievo. Uno studio metodologico delle interrelazioni tra rilievo e progetto per l'intervento nell'ambiente costruito*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. I, n. 0.
1989 C. Caciagli, *La casa colonica ed il paesaggio agrario nel volterrano*, Pontedera.
1996 R. Continenza, *Argomenti di rappresentazione urbana*, in «Quaderni del Dipartimento di Architettura ed Urbanistica», L'Aquila, n. 1.
2002 A. De Sanctis (a cura di), *Rilevamento urbano: tipologie edilizie e spazi urbani nel centro antico di Cosenza*, Rende.
2007 C. Mezzetti, *Teate: il disegno di una città*, Roma.

Rilevamento ed analisi storica

1938 N. Balanos, *Les monuments de l'Acropole, relèvement et conservation*, Paris.
1967 F. Borsi, *La chiesa di S. Andrea al Quirinale*, Roma.
1971 G. Zander, *Recenti opere di rilevamento architettonico (Corpus Palladianum)*, in «Quaderno» dell'Istituto di Elementi di Architettura e Rilievo dei Monumenti dell'Università di Genova, n. 7.
1979 G. Zander, *Note sulla chiesa della Madonna della Misericordia a Macerata*, in «Atti del II Congresso di studi su 'Luigi Vanvitelli e il '700 Europeo'», Caserta 5-10 novembre.
1983 M. Docci, *Il rilievo come momento qualificante dell'analisi storica*, in «Atti del XXI Congresso di Storia dell'Architettura», Roma 12-14 ottobre.
1985 D. Maestri, F. Toppetti, *Todi: Palazzo Viviano degli Atti*, Roma.
2007 S. Brusaporci, *Le murature nell'architettura del versante meridionale del Gran Sasso (secc. XI-XIV)*, Roma.

Rilevamento e restauro

1946 A. Annoni, *Scienza ed arte del restauro architettonico*, Milano.
1958 L. Guagliumi, *Studio per il rilievo, disegno, restauro e trasporto di un antico monumento*, Milano.
1972 G. De Angelis D'Ossat, *Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento*, Roma.
1973 P. Sanpaolesi, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze.
1981 L. Marino, *Il progetto di restauro*, Firenze.
1983 P. Fancelli, *Il progetto di conservazione*, Roma.
1985 G. Carbonara, *Restauro dei monumenti. Guida agli elaborati grafici*, Roma.
1986 P. Fancelli, *La restituzione grafica: note di filologia architettonica*, in «Ricerche di Storia dell'Arte», n. 27.
1988 G. Carbonara, *Il restauro critico*, in N. Perazzoli (a cura di), *Il progetto di restauro: interpretazione critica del testo architettonico. Dialoghi di restauro*, Trento.
1989 G. Carbonara, *Disegnare per il restauro*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. I, n. 0.
1989 P. Marconi (a cura di), *Manuale del recupero del Comune di Roma*, Roma.
1990 *Capitolato speciale di appalto per il rilevamento architettonico a fini di restauro*, ricerca del Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo, Università degli Studi di Roma «La Sapienza», Roma.
1990 L. Marino, *Il rilievo per il restauro: ricognizioni, misurazioni, accertamenti, restituzioni, elaborazioni*, Milano.
1990 G. Rocchi, *Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali: cause, accertamenti, diagnosi* (1985), Milano.
1992 F. Giovannetti (a cura di), *Manuale del recupero del Comune di Città di Castello*, Roma.
1993 M.A. Moro, L. Mingotto *Una casa a Oderzo: indagini preliminari al progetto*, Oderzo.
1997 F. Giovannetti (a cura di), *Manuale del recupero del Comune di Roma*, Roma.
2006 S. Brusaporci, *Il disegno dell'*apparecchio aquilano *nell'architettura religiosa dal XII al XIV secolo*, in R.M. Strollo (a cura di), *Disegno e conoscenza: contributi per la storia e l'architettura*, Roma.
2006 I. Trizio, *Rilievo della* Iglesia de S. Augustin *a Valencia: un'esperienza multidisciplinare di rilievo integrato*, in R.M. Strollo (a cura di), *Disegno e conoscenza: contributi per la storia e l'architettura*, Roma.

Sul colore degli edifici

1962 X. Auer, *Il colore, l'uomo, l'ambiente*, Milano.
1973 L. Veronesi, *Elementi di cromatologia*, Accademia di Belle Arti, Milano, dispense nn. 1-3.
1980 G. Brino, F. Rosso, *Colore e città*, Milano.
1981 G. Brino, *Il piano regolatore del colore di Torino*, «A.U.», a. I, n. 1.
1981 A. Oliaro (a cura di), *Colore e ambiente 1 «Novara»*, Comune di Novara, Ufficio delle Abitazioni.
1982 J. Itten, *Arte del colore*, Milano.
1983 M. Brusatin, *Storia dei colori*, Torino.
1984 L. De Grandis, *Teoria e uso del colore*, Milano.
1984 P. Marconi, *Arte e cultura della manutenzione dei monumenti*, Roma-Bari.
1984 Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, *Il colore nell'edilizia storica*, supplemento in «Bollettino d'Arte», n. 6.
1985 Cooperativa Architetti Ingegneri di Reggio Emilia (a cura di), *Il colore: il metodo, le tecniche, i materiali*, Comune di Sassuolo, Modena.
1986 F. Bianchetti, *Il colore nell'ambiente costruito*, Milano.
1987 L. Beddini, *Città, colore ed altre qualità. Il progetto di Arredo Urbano per la città di Foligno*, Assessorato all'Urbanistica e Arredo Urbano, Foligno.
1993 A. García Codoñer, *Estudio cromatico para la restauración del Real Santuario Virgen de la Salud*, in «EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica», a. I, n. 1.
1993 G. Tabak, *I colori della città eterna. Le tinteggiature dei palazzi romani nei documenti d'archivio (secc. XVII-XIX)*, in «Quaderni della Rassegna degli Archivi di Stato», Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Ufficio Centrale per i Beni Artistici, n. 72.
2000 D. Fiorani (a cura di), *Il colore dell'edilizia storica*, in «Atti del Convegno», L'Aquila 13-14 novembre 2000.
2001 R. Camacho Martínez, E. Asenjo Rubio, *Il patrimonio pittorico murale di Málaga e Melilla. Lettura della città attraverso un progetto di ricerca*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XII, n. 23.
2003 M. Morlacchi, *Colore e architettura. Il linguaggio del colore nel disegno delle superfici*, Roma.

Rilevamento e archeologia

1954 R.E.M. Wheeler, *Archaeology from the Earth*, Oxford.
1966 K.M. Kenyon, *Introduzione all'archeologia*, Verona.
1974 G. Webster, *Practical Archaeology*, London.
1975 C.F. Giuliani, P. Verdichi, *Ricerche sull'architettura di Villa Adriana*, Roma.
1976 C.F. Giuliani, *Archeologia: documentazione grafica*, Roma.
1977 P. Barker, *Techniques of Archaeological Excavation*, London.
1979 E.C. Harris, *The Laws of Archaeological Stratigraphy*, in «World Archaeology», n. 11.
1981 A. Carandini, *Storie dalla terra*, Bari.
1987 C.F. Giuliani, P. Verduchi, *L'area centrale del Foro Romano*, Firenze.

1991 V. Di Grazia, *Rilievo e disegno nell'archeologia e nell'architettura. Tecniche, opinioni e teorie*, Roma.
1992 S. Gelichi, *Storia e archeologia di una pieve medioevale. San Giorgio di Argenta*, Firenze.
1992 E.C. Harris, *Principi di stratigrafia archeologica* (1983), Urbino.
1996 A. Carandini, *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico*, Torino.
1998 R. Parenti, *Rilievo archeologico e stratigrafia dei monumenti. Tecniche di documentazione ed elaborazione dei dati*, in «Archeologia e Restauro dei monumenti».
2003 M. Medri, *Manuale di rilievo archeologico*, Roma-Bari.

Rilevamento e didattica

1975 C. Mezzetti, *Il rilievo come strumento didattico pedagogico*, in C. Mezzetti, G. Bucciarelli, L. Lunazzi, *Il disegno. Analisi di un linguaggio*, Roma.
1979 E. Mandelli, *Un'esperienza della scuola Fiorentina: il rilievo a vista*, in «Disegno», a. I, n. 2.
1981 G. De Fiore, *Oltre la didattica per la conoscenza e la documentazione del patrimonio architettonico ed ambientale*, in «Atti del Convegno 'Il recupero dei vecchi centri'», Padova 22-24 maggio.
1981 L. Pavan, *L'insegnamento del disegno e del rilievo*, in «Atti del III Convegno nazionale dei docenti della Rappresentazione», Santa Margherita Ligure, in «Disegno», a. IV, nn. 1-2.

METROLOGIA E TEORIA DELLA MISURA

Opere generali e sui sistemi metrici degli antichi Stati italiani

1548 P. Apiano (o P. Bienewitz), *Libro de la Cosmografia de Pedro Apiano, el qual trata la descripcion del mundo, y sus partes, por muy claro y lindo artificio, augmentado por el doctissimo varon Gemma Frisio*, Basilea.
1760 G.F. Cristiani, *Delle misure d'ogni genere antiche, e moderne con note letterarie, e fisico-matematiche, a giovamento di qualunque architetto*, Brescia.
1840 C. Afan De Rivera, *Tavole di riduzione de' pesi e delle misure della Sicilia Citeriore in quelli stabiliti dalla legge de' aprile del 1840*, Napoli.
1847 M. Dho, *Guida pratica del sistema metrico decimale ed itinerario dei Regi Stati*, Torino.
1883 A. Martini, *Manuale di metrologia*, Torino.
1895 A. Tacchini, *La metrologia universale ed il codice metrico universale*, Milano.
1929 G. Boffito, *Gli strumenti della scienza e la scienza degli strumenti*, Firenze.
1963 L. Daboni, *Errori, teoria degli...*, Milano.
1973 U. Tucci, *Pesi e misure nella storia della società*, in *Storia d'Italia Einaudi*, vol. V, Torino.
1979 S. Sartori, *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società*, Torino.
1986 D. Maestri, *Antichi sistemi di misura*, in «Archeologia», nn. 6-7, settembre.
1987 W. Kula, *Le misure e gli uomini dall'antichità ad oggi*, Roma-Bari.

Opere sul rapporto tra metrologia e architettura e sul proporzionamento architettonico

1615 V. Scamozzi, *L'idea dell'architettura universale*, Venezia.
1886 G.A. Boidi-Trotti, *Il Vignola degli studenti, contenente i cinque ordini di Giacomo Barozzi, confrontati cogli antichi e moderni*, Torino.
1893 A. Thiersch, *Proportionen in der Architektur*, Darmstad.
1922 F.M. Lund, *Ad quadratum. Etudes des bases géometriques de l'architecture religieuse dans l'antiquité et au moyen âge découvertes dans la Cathédrale de Milan*, Paris.
1925 I.H. Cole, *Survey of Egypt Paper nr. 39: Determination of the Exact Size and Orientation of the Great Pyramid of Giza*, Il Cairo.
1926 L. Borchardt, *Langen und Richtungen der vier Grundkanten der Grossen Pyramide bei Gise*, Berlin.
1928 P. Cipriani, *Cheope e Chefren: notevole relazione ciclometrica scoperta nel quadrato di Ahmes*, Rovigo.
1931 M.C. Ghika, *Le nombre d'or*, I: *Les rythmes*, Paris.
1938 F. Pellati, *Vitruvio*, Roma.
1945 C.J. Moe, *Numeri di Vitruvio*, Milano.
1964 R. Wittkower, *Principi architettonici nell'età dell'Umanesimo*, Torino.
1966 F. Borsi, *Per una storia della teoria delle proporzioni*, in «Quaderno» della Cattedra di Disegno della Facoltà di Architettura di Firenze, n. 2.
1968 L. Benevolo, S. Chieffi, G. Mezzetti, *Indagine sul S. Spirito di Firenze*, in «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura», serie XV, fasc. 85-90.
1971 L. Bartoli, *L'unità di misura e il modulo proporzionale nell'architettura del Rinascimento*, in «Quaderno» dell'Istituto di Elementi di Architettura e Rilievo dei Monumenti dell'Università di Genova, n. 6.
1971 L. Vagnetti, *Architettura e metrologia*, in «Quaderno» dell'Istituto di Elementi di Architettura e Rilievo dei Monumenti dell'Università di Genova, n. 6.
1973 F. Bergonzoni, *Caratteristiche architettoniche e metriche della*

Madonna del Monte, in I. Nikolajevic, *La Madonna del Monte*, Bologna.
1976-78 A.K. Orlandos, *L'architettura del Partenone*, 3 voll., Atene.
1979 M.C. Ghika, *Estetica de las proporciones en la Naturaleza y en las Artes* (1927), Barcelona.
1982 L. Bartoli, *Le chiavi del pentagramma architettonico*, in *Banca Toscana. Storia e collezioni*, Firenze.
1982 G. De Angelis D'Ossat, *Proporzioni e accorgimenti visuali negli interni*, in *Francesco d'Assisi. Chiese e conventi*, Milano.
1982 M. Salvatori, *Le prime sedi francescane*, in *Lo spazio dell'umiltà*, in «Atti del Convegno di Studi sull'edilizia dell'Ordine dei Minori», Fara Sabina 3-6 novembre.
1983 L. Bartoli, *La basilica di Santa Croce al di là dello spazio e del tempo*, in U. Baldini, B. Nardini (a cura di), *Il complesso monumentale di Santa Croce: la basilica, le cappelle, i chiostri, il museo*, Firenze.
1984 L. Bartoli, *La basilica di San Lorenzo nel tempo e nello spazio armonico*, in U. Baldini, B. Nardini (a cura di), *Il complesso monumentale di San Lorenzo: la basilica, le sagrestie, le cappelle, la biblioteca*, Firenze.
1984 G. Palmerio, *Il convento di Santa Maria delle Grazie a Rignano Flaminio*, Roma.
1987 R. Chitam, *Gli ordini classici in architettura*, Milano.
1987 J.A. Ruiz de la Rosa, *Traza y Simetría de la Arquitectura en la Antiguedad y Medievo*, Sevilla.
1989 M.T. Bartoli, *Numero e geometria nel disegno dei palazzi fiorentini del sec. XV*, in E. Mandelli, *Palazzi del Rinascimento. Dal rilievo al confronto*, Firenze.
1989 M. Docci, F. Toppetti, *I nicchioni di Todi. Rilievo e analisi di un frammento di città romana*, Todi.
1989 D. Maestri, M. Centofanti, *Image et réalité de l'architecture: problèmes conceptuels d'interpretation et de representation*, in «Papers of XI Symposium Intenational on Contributions of Modern Photogrammetry Remote Sensing and Image Processing Methods to the Architectural and Urban Heritage», CIPA-ICOMOS, Sofia 4-7 ottobre 1988.
1991 R. Migliari, *Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. II, n. 2.
1993 M.T. Bartoli, *Le misure del Partenone*, in «Atti del Convegno su 'Il disegno di progetto dalle origini a tutto il XVIII secolo'», Roma 22-24 aprile.
1993 J.A. Ruiz de la Rosa, *Hacia un Nuevo Concepto de Teoría de la Proporción: el Control de la Forma en la Historia de la Arquitectura*, in «Atti del Convegno su 'Il disegno di progetto dalle origini a tutto il XVIII secolo'», Roma 22-24 aprile.
1993 G. Trabucco, *L'antico alla base del disegno di progetto nell'opera del casalese F. Ottavio Magnocavalli*, in «Atti del Convegno di Studi su 'Il disegno di progetto dalle origini a tutto il XVIII secolo'», Roma 22-24 aprile.
1996 D. Maestri, *Medidas y proporciones en la arquitectura antigua*, in «Boletin de Arte», n. 18.
1997 A. Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, ristampa anastatica, Milano.
2005 J.A. Ruiz de la Rosa, *Fuentes para el Estudio de la Geometria Fabrorum. Análisis de Documentos*, in «Actas del IV Congreso Nacional de Historia de la Construcción», Madrid.

SUL RILEVAMENTO TOPOGRAFICO

Opere generali

1952 W. Tartarini, *Elementi di topografia e costruzioni stradali*, Roma.
1971 A. Agostini, *Topografia*, Milano.
1979 U. Bartorelli, *Topografia*, Bologna.
1991 M. Fondelli, *Manuale di topografia*, 3 voll., Roma-Bari.

SUL RILEVAMENTO ARCHITETTONICO E URBANO

Opere generali

1953 G. Buttafava, *L'architettura rilevata, introduzione al rilievo dei monumenti*, Milano.
1959 G. Cento, *Rilievo edilizio architettonico*, Genova.
1979 F. Brunelli, *Rilievo e rappresentazione*, Firenze.
1980 R. Danger, *Cours de relevé d'architecture*, Paris.
1981 E. Schiavina, *Tecnica del rilievo. Restituzione grafica dell'oggetto*, in «Restauro architettonico, informazioni e tecniche», Roma.
1982 M. Bini, *La dimensione dell'architettura (note sulla rilevazione)*, Firenze.
1985 E. Polla, *Osservazione ricerca restauro: guida al rilievo architettonico e urbano*, Roma.
1990 J.I. San Jose Alonso, *El levantamiento gráfico, un ejercicio de representación arquitectónica*, in «Actas del III Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica», Valencia mayo 1990.
1999 Numero monografico della rivista «Disegnare. Idee, immagini» sul rilevamento del Colosseo, a. X, nn. 18-19.
2001 C. Bianchini, *Modelli discreti e modelli continui nel rilievo e rappresentazione informatizzata dell'architettura*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XII, n. 22.
2002 C. Trevisan, *Proporzioni e vera forma di particolari architettonici rilevati con scanner 3D: caratteristiche di un software specifico*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XIII, n. 24.

2004 M. Centofanti, *La* Villa Dragonetti *e l'architettura barocca all'Aquila*, in R.M. Strollo (a cura di), *Architettura e ambiente. Casi di studio*, Roma.
2004 R. Continenza, *Rilievo della* Villa Correr-Dolfin *a Rorai Piccolo (Pordenone)*, in R.M. Strollo (a cura di), *Architettura e ambiente. Casi di studio*, Roma.
2005 C. Cundari, *Il Palazzo Reale di Caserta*, 3 voll., Roma.
2006 C. Inglese, A. Pizzo, *Studio iconografico, raddrizzamento fotografico e proporzionamento per la ricostruzione dell'arco di Traiano*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XVII, n. 32.
2007 M.T. Bartoli, *«Musso e non quadro». La strana figura di Palazzo Vecchio dal suo rilievo*, Firenze.

SUL RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO

Opere generali

1901 P. Paganini, *Fotogrammetria*, Milano.
1958 M. Fondelli, *Il metodo fotogrammetrico nel restauro architettonico*, in «Bollettino di Geodesia e Scienze Affini», Istituto Geografico Militare, n. 2.
1964 M. Docci, *Principi di fotogrammetria e restituzione prospettica da architetture*, Roma.
1970 G. Boaga, *Introduzione al rilievo fotogrammetrico dei monumenti*, Roma.
1970 H. Foramiti, *La photogrammétrie au service des conservateurs*, Roma.
1974 B. Astori, L. Solaini, *Fotogrammetria*, Milano.
1975 A. Daddabbo, *La Fotogrammetria architettonica*, in «Continuità», a. IX, n. 3.
1977 U. Saccardi, *Applicazioni della geometria descrittiva*, Firenze.
1978 F. Guidi, *Fotogrammetria, fotointerpretazione, telerilevamento*, Firenze.
1979 C. Cundari, *Rilievo architettonico e fotogrammetria*, Napoli.
1982 M. Docci, *Fotogrammetria e rappresentazione*, in «Disegno», nn. 3-4, settembre.
1983 C. Cundari, *Fotogrammetria architettonica*, Roma.
1987 A. Almagro (a cura di), «Actas del X Symposium Internacional de Fotogrametría y Representación de la Arquitectura», CIPA-ICOMOS, Granada 27-29 octubre.
1988 M.H. Corbiau, *Trente annes de photogrammétrie architecturale au Ministére des Travaux Publics 1955-1985*, Bruxelles.
1992 M. Fondelli, *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*, Roma-Bari.

SUL RILEVAMENTO CON LASER SCANNER 3D

Opere generali

2001 M. Docci, M. Gaiani, R. Migliari, *Una nuova cultura per il rilevamento*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XII, n. 23.
2003 M. Docci, *Hagia Sofia. Analisi del rilevamento interno*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XIV, n. 26.
2004 M. Docci, *El levantamiento con escáner laeser – una nueva frontera para el conocimiento*, in «R & R Restauración & Rehabilitación», n. 92, novembre (pp. 28-33).
2005 Mario Docci, Marina Docci, *L'uso della riflettanza: un nuovo capitolo per il restauro delle superfici*, in *Metodologie Innovative integrate per il Rilevamento dell'Architettura e dell'Ambiente*, Gangemi, Roma.
2007 M. Docci, *La Basilica vaticana non costruita. L'opera di Antonio da Sangallo*, in «Disegnare. Idee, immagini», a. XVIII, n. 34 (pp. 24-35).
2007 M. Docci, L. Ribichini, C. Bianchini, A. Ippolito, *From plans to Model: the Unbuilt Vatican Basilica*, in S. Bertocci, S. Parrinello (ed. by), *From Survey to the Project: Heritage & Historical Town Centres*, Edifin, Firenze (pp. 150-155).
2007 M. Docci, *Virtuale, Rappresentazione*, in *Enciclopedia Italiana Treccani, XXI secolo. Settima appendice*, vol. III, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, Roma (pp. 448-450).

SULLA FOTOGRAFIA NEL RILEVAMENTO ARCHITETTONICO

Opere generali

1959 P. Pollak, *Storia della fotografia dalle origini ad oggi*, Milano.
1966 H.E.A. Gernsheim, *Storia della fotografia*, Milano.
1976 A. Feininger, *Il libro della fotografia*, Milano.
1980 R. Bartes, *La camera chiara*, Torino.
1981 C. Lucci, *Fotografia, disegno e rilievo come mezzi di conoscenza e di comunicazione*, in «Restauro architettonico, informazioni e tecniche», Roma.
1982 J. Hedgecoe, *Il manuale del fotografo*, Milano.
1982 G. Pratesi, *La fotografia come strumento di rilievo*, Firenze.
1983 P. Castano, *L'archivio fotografico*, Milano.
1987 A. Adams, *Il negativo*, Bologna.
1988 A. Adams, *La stampa*, Bologna.
1989 A. Adams, *La fotocamera*, Bologna.

1989 G. Alvisi, *La fotografia aerea nell'indagine archeologica*, Roma.
1991 S. Sontag, *Sulla fotografia*, Torino.
1991 I. Zannier, *Architettura e fotografia*, Roma-Bari.
1992 R.L. Gregory, *Occhio e cervello*, Milano.
2007 G. Stockel, *Guardare vedere fotografare*, Roma.

SULLA CATALOGAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

Opere generali

1975 R. Bonelli, *La cultura italiana e la tutela dei centri storici*, in «Enciclopedia '75», Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma.
1978 L. Baldini Giusti, F. Facchinetti Bottai, W. Ferri, *Beni culturali e loro catalogazione*, in «Parametro», n. 66, maggio.
1981 F. Negri Arnoldi, *Il catalogo dei beni culturali e ambientali*, Roma.
1981 C. Palmas Devoti, *Limiti, prospettive e qualità del rilievo monumentale nell'ambito delle attività di catalogazione delle soprintendenze*, in «Disegno», a. II, nn. 1-2.
1982 M. Fondelli, *Il contributo del metodo fotogrammetrico alla documentazione ed allo studio dei beni culturali*, Firenze.
1983 L. Cavagnaro Pontuale (a cura di), *Relazione annuale «Attività dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione»*, I: *Norme Generali*; II: *Norme per la redazione della scheda T*; III: *Norme per la redazione della scheda CS*; IV: *Norme per la redazione della scheda SU*; V: *Norme per la redazione della scheda TP*; VI: *Norme per la redazione della scheda A*.
1983 Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, *Norme per la redazione delle schede di catalogo dei beni culturali*, Roma.

SULLA NORMATIVA GRAFICA E SULLA SIMBOLOGIA

Opere generali

1954 E. Petrucca (a cura di), *Dizionario d'ingegneria*, Torino.
1962 Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Manuale dell'architetto*, Roma.
1967 C.G. Ramsey, H.R. Sleeper, *Architectural Graphic Standards*, New York.
1974 Ente Nazionale Italiano di Unificazione, *Principali convenzioni e simboli della rappresentazione di aggregati urbani storici*, Milano, norma n. 7310/74.
1977-78 G. De Angelis D'Ossat, *Norme per la redazione dei grafici di rilievo e di restauro dei beni architettonici*, dispensa ICCROM, Roma.
1980 C. Cundari, *Appunti per la normalizzazione dei rilievi e dei relativi grafici di Architettura*, in «Disegno», a. II, n. 1.
1983 P. Fancelli, *Il progetto di conservazione*, Roma.
1988 M. Cigola, *Proposta di simbologia grafica unificata per il rilevamento architettonico*, Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo, Università degli Studi di Roma «La Sapienza», Roma.

STORIA DEL RILEVAMENTO

Opere generali

1527 F.F. Lazesio, *Libro d'arithmetica e geometria speculativa e praticale* (1526), Venezia.
1534 O. Finé, *Quadrans astrolabicus, omnibus Europae regionibus inserviens*, Paris.
1556-60 N. Tartaglia, *General trattato di numeri e misure*, Venezia.
1577 G. Cataneo, *Opera del misurare*, Brescia.
1594 J. Davis, *The Seaman's Secrets*, London.
1598 O. Fabbri, *L'uso della squadra mobile con la quale per teoria et pratica si misura geometricamente ogni distanza, altezza e profondità, s'impara a perticare, livellare et pigliare in disegno le città, paesi et provincie, ecc. da Ottavio Fabbri messa in luce*, Venezia.
1599 G. Pomodoro, *Geometria pratica*, Roma.
1684 M. Ferrabosco, *Architettura della Basilica di San Pietro in Vaticano, opera di Bramante Lazzari, Michelangelo Bonarota, Carlo Maderni, e altri famosi architetti*, Roma.
1694 C. Fontana, *Templum Vaticanum et ipsius origo cum aedificiis maxime cospicuis antiquitus et recens ibidem constitutis*, Roma.
1740-48 F. Muttoni, *Architettura di Andrea Palladio vicentino*, Venezia.
1744 G. Zocchi, *Vedute delle Ville e d'altri luoghi della Toscana*, Firenze.
1756 G.B. Piranesi, *Le antichità romane*, Roma.
1757 G. Cambiagi, *Descrizione dell'imperiale giardino di Boboli*, Firenze.
1761 G.B. Piranesi, *Della magnificenza ed architettura de' Romani*, Roma.
1762 G.B. Piranesi, *Il Campo Marzio dell'antica Roma*, Roma.
1776 O. Bertotti Scamozzi, *Le fabbriche e i disegni di Andrea Palladio*, Vicenza.
1779 A. Desgodets, *Les édifices antiques de Rome*, Paris.
1783 A. Cerati, *Le ville lucchesi con altri opuscoli in versi ed in prosa di Filandro Cretense*, Parma.
1798 Ch. Percier, P.F.L. Fontaine, *Palais et maisons de Rome moderne*, Paris.
1813 G. Valadier, *Raccolta delle più insigni fabbriche di Roma antica*, Roma.

1818-32 P.M. Gauthier, *Les plus beaux édifices de la Ville de Génes et de ses environs*, Paris.
1821 A.Ch. Pugin, *Specimens of Gothic Architecture*, London.
1830-40 L. Cicognara, G.A. Selva, A. Diedo, *Le fabbriche e i monumenti cospicui di Venezia*, Venezia.
1831 A.Ch. Pugin, *Gothic Ornaments from Ancient Buildings in England and France*, London.
1854-57 P.M. Letarouilly, *Notices historiques et critiques sur les édifices de Rome moderne*, 4 voll., Paris.
1866 R. Reinhardt, *Palazzi dell'Italia settentrionale e della Toscana dal XV al XVII secolo*, Berlino.
1939 G. Sepe, *Rilievi e studi dei monumenti antichi nel Rinascimento*, Napoli.
1980 L. Vagnetti, *L'architetto nella storia di occidente*, Padova.
1982 G. De Angelis D'Ossat, *Realtà dell'architettura: apporti alla sua storia*, Roma, vol. II.
1993 M. Docci, D. Maestri, *Storia del rilevamento architettonico e urbano*, Roma-Bari.

grandi **OPERE**

I modi e le tecniche con cui il paesaggio, le città, gli edifici vengono analizzati e rappresentati graficamente. Un volume di grande efficacia didattica, arricchito di una corposa sintesi di storia del rilevamento architettonico dall'antichità ai tempi moderni.

ISBN 978-88-420-9068-7
9 788842 090687